

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

**ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO PARA LA
IMPLANTACIÓN DE METODOLOGÍA DE
DISEÑO COLABORATIVA BIM (BUILDING
INFORMATION MODELING) EN OFICINAS DE
DISEÑO DE PROYECTOS INDUSTRIALES**

“Technical-economic analysis for implementation
of BIM collaborative design methodology in
industrial project design offices”

Para acceder al título de
**GRADUADO EN INGENIERÍA EN
TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

Autor: Fernando Sieyro Portela
Santander-Septiembre 2019

INDICE

1.	INTRODUCCIÓN	3
2.	ESTADO ACTUAL DELBIM	4
2.1	¿QUÉ ES ELBIM?	4
2.2	¿POR QUÉ DAR PASO AL BIM?.....	5
2.3	ORÍGEN - PASO DEL CAD ALBIM	6
2.4	VENTAJAS.....	10
2.5	APLICACIONES DEL BIM.....	13
2.5.1	Aplicaciones en el diseño gráfico BIM 3D	14
2.5.2	Aplicaciones en programación temporal - BIM 4D	16
2.5.3	Aplicaciones en aspectos de coste y presupuesto - BIM 5D	18
2.5.4	Aplicaciones para la sostenibilidad y gestión durante el ciclo de vida BIM 6D.....	20
3.	MODELO PARA EL ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO.....	25
3.1	DATOS DE ENTRADA (INPUTS).....	26
3.2	TABLA DE EFICIENCIA BIM	31
3.3	OUTPUTS – INDICADORES DE RENTABILIDAD	39
3.3.1	Valor Actual Neto (VAN)	39
3.3.2	Tasa Interna de Retorno (TIR).....	41
3.3.3	Payback descontado.....	43
3.4	HOJA DE CÁLCULO.....	45
4.	ESTUDIO DE RENTABILIDAD ECONÓMICA	47

4.1	RESULTADOS ANALÍTICOS.....	48
4.2	GRÁFICAS DE RENTABILIDAD	53
4.3	EJEMPLO DE APLICACIÓN	60
5.	CONCLUSIONES.....	63
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	65
7.	ÍNDICE DE TABLAS, GRÁFICOS Y FIGURAS	67
7.1	ÍNDICE DE TABLAS	67
7.2	ÍNDICE DE GRÁFICOS	69
7.3	ÍNDICE DE FIGURAS.....	70

1. INTRODUCCIÓN

El BIM (Building Information Modeling) es una herramienta de trabajo aplicada en ingeniería y arquitectura que permite integrar toda la información de un proyecto en un único modelado. Nos da la posibilidad de diseñar, analizar y gestionar todo el ciclo de vida de un proyecto, desde su creación hasta su demolición o reconstrucción facilitando la colaboración y comunicación entre los diferentes departamentos desde los que se gestiona.

Este software permite computar y optimizar todos los parámetros relacionados con la edificación estructural, el consumo de energía, el control de emisiones y residuos, pero también puede integrar los costes, los plazos de construcción o la gestión del mantenimiento. Se consiguen unificar todas estas áreas de diferente naturaleza en una única plataforma informática que hace posible el acceso a toda la información de los diferentes equipos que desarrollarán el proyecto

El objetivo que persigue este trabajo es analizar en profundidad la implantación de la metodología BIM en una oficina de diseño de proyectos industriales. Primero se contextualizará y se definirá el concepto de BIM y se estudiarán sus posibilidades de crecimiento y expansión exponiendo sus principales características y comparando esta nueva forma de trabajo con los métodos empleados tradicionalmente.

En segundo lugar se analizará a nivel técnico todo lo que conlleva la implementación de esta metodología y los costes asociados a ella. Se detallará tanto el coste como el ahorro y el payback o plazo de recuperación de la inversión necesaria para trabajar con este tipo de software justificando el análisis con todos los datos necesarios que se recogerán en las diferentes tablas.

Para concluir, partiendo del modelo técnico ya elaborado, se llevará a cabo un análisis económico de rentabilidad para extraer una serie de conclusiones acerca de los beneficios que supone el Building Information Modeling para el diseño de proyectos industriales.

2. ESTADO ACTUAL DEL BIM

2.1 ¿QUÉ ES EL BIM?



FIGURA 1. Presentación del BIM - Fuente: saint-gobain.com

El BIM (Building Information Modelling) engloba los procesos de generación de datos y la gestión de éstos, de forma coordinada coherente, computable y continua en las distintas etapas del ciclo de vida de la construcción.

La información recogida en estos datos puede ser de tipo formal, pero también abarca información geográfica, propiedades de los materiales de construcción, uso del espacio, así como información sobre ámbitos laborales y secuencias de actividades de construcción.

Toda esta información, tanto técnica y documental, como gráfica se recoge en una única base de datos, de forma acoplada.

La información gráfica abarca maquetas, planos y formas (integrando 2 y 3 dimensiones), y lo hace gracias al uso de programas como pueden ser ArchiCAD, Revit o Allplan.

2.2 ¿POR QUÉ DAR PASO AL BIM?

La ventaja del uso de un sistema BIM para el diseño de un proyecto, frente a los métodos tradicionales, radica en la posibilidad de una comunicación e interacción permanente y a tiempo real entre los distintos sectores de una empresa, o de las distintas empresas involucradas.

Su implementación en empresas hace posible un aumento de la eficacia y una reducción de plazos y costes, ya que actualmente la principal causa de estos y otros problemas a lo largo del desarrollo de un proyecto, es la incompatibilidad entre sistemas de los distintos agentes implicados.

Otra ventaja, es que los sistemas BIM, permiten llevar a cabo simulaciones virtuales previas, con las que podremos anticiparnos a cualquier tipo de problema o dificultad que pudiera acontecer durante la construcción, ralentizando y encareciendo todo el proceso.

Esto también permite hacer estimaciones de presupuestos más exactas y fiables.

Que por otra parte serán más rápidas, ya que la automatización de procesos, como la contabilización de materiales, disminuye en gran medida en tiempo destinado a mediciones.

El uso de un sistema BIM, también conlleva una mayor transparencia y seguridad de la información, ya que permite a todos los actores de los distintos niveles del proceso, contar con todos los detalles del proyecto y revisarlos constantemente.

En general gracias al BIM y a la visión global que éste nos ofrece podremos generar documentos de proyectos más consistentes, más precisos, en menos tiempo y con menos costes.

Estas ventajas son la razón por la que la adopción de estas nuevas tecnologías es ya una realidad. En cuanto a adopción y madurez, a nivel global los principales representantes son países como China y Reino Unido, seguidos por Finlandia y España. A nivel de innovación tenemos a Corea del Sur, Reino Unido y Finlandia como líderes.

2.3 ORIGEN - PASO DEL CAD AL BIM

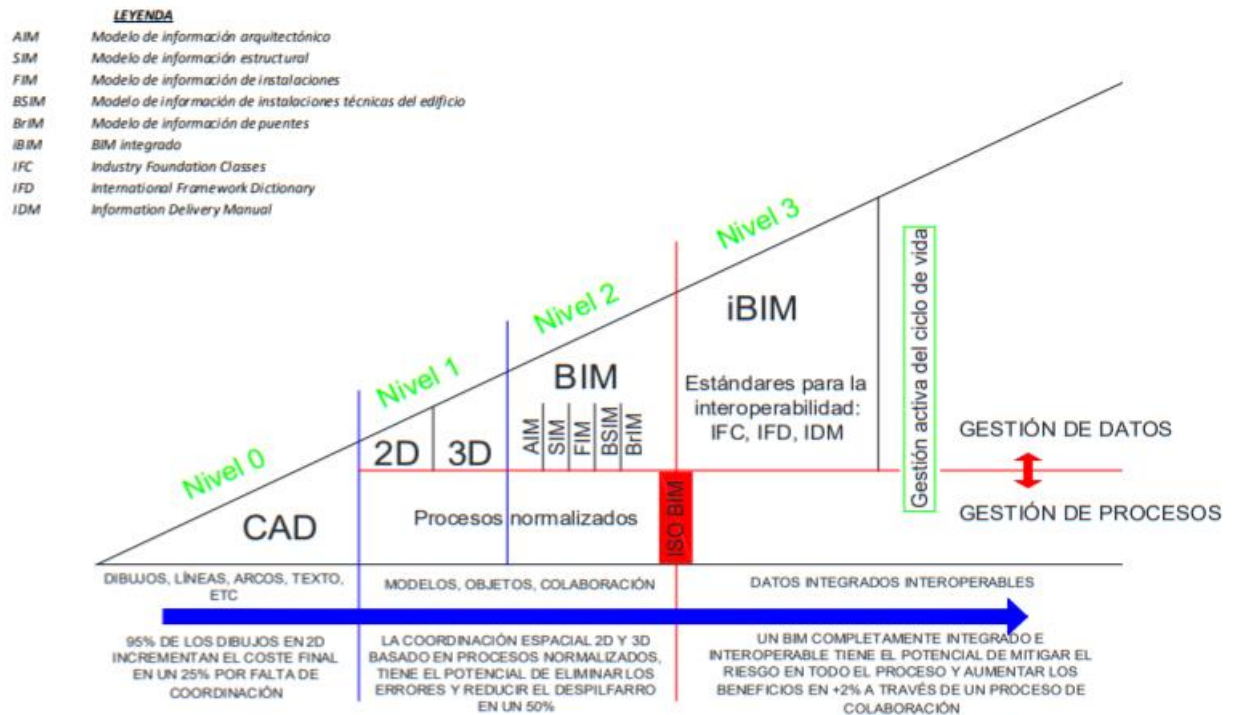


FIGURA 2. Evolución CAD - BIM – Fuente: udc.es.

El origen de esta metodología proviene de los sistemas CAD por lo que debemos definir adecuadamente el tipo de archivos elaborados con BIM y las diferencias que existen entre unos y otros

Los archivos BIM son modelos gráficos que llevan asociados una serie de parámetros que permiten tener una información más precisa de los elementos que lo conforman. Un ejemplo de ello sería la representación de una columna que a su vez viene relacionada con información referente a su material, la sección, el peso, las cargas que soporta, la estabilidad de la estructura y los grados de libertad del elemento entre otras propiedades.

La geometría de los elementos no admite errores de cálculo o de disposición, el modelo en 3D y los planos que se generan del mismo en 2D deben ser

coherentes y cuando se modifiquen cambios en uno de ellos se vean reflejados automáticamente en el otro. Esto se hace presente en la modificación automática de la geometría de un elemento como puede ser una viga que modifica su longitud según la distancia que separe los nodos que la definen.

Los objetos se pueden distinguir entre diferentes niveles de jerarquía asignados por el usuario pudiendo crear un conjunto formado por distintos componentes que pueden ser alterados dentro de los márgenes físicos que establezca el conjunto, estos cambios estarán reflejados en las características finales del elemento. La información computada puede vincularse y compartirse con la de otros objetos. Aquí podemos ver resumidas las principales diferencias entre estas dos maneras de trabajar:

Concepto	CAD	BIM
<i>Dibujo</i>	Entidades geométricas: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Líneas ▪ Círculos ▪ Polígonos ▪ Sólidos ▪ Superficies ▪ Otros 	Elementos constructivos con propiedades: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Muros ▪ Puertas/ventanas ▪ Pilares ▪ Cubiertas ▪ Terrenos ▪ Otros
<i>Relación plantas – secciones – alzados – modelo 3D</i>	Son entidades independientes a las que hay que aplicar cambios por separado: <ul style="list-style-type: none"> ▪ En el mismo archivo ▪ Distintos archivos (con o sin referencias) 	Existe un único modelo del que se extraen representaciones. Cualquier cambio en el modelo cambia las representaciones.
<i>Datos asociados</i>	Bloques con atributos (poco utilizados, tienen limitaciones)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Propiedades de los elementos (precios unitarios, materiales, gravedad...) ▪ Calculados (superficies, volúmenes...) ▪ Propiedades de los planos
<i>Informes</i>	Calcular datos y exportarlos a otros softwares	Generados automáticamente y vinculados (pueden cambiarse datos en informe o en modelo)
<i>Trabajo en grupo</i>	No hay Soluciones improvisadas: un archivo, una persona y relacionar archivos con Xref	Métodos cambian según la aplicación: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Posibilidad de trabajar en zonas/capas concretas ▪ Permisos/usuarios

FIGURA 3. Diferencias entre CAD y BIM – Fuente: upc.edu

Se presenta a continuación la curva de MacLeamy quien en el 2004 dibujó una serie de gráficos en los que se demostraba que un proyecto es más costoso de modificar cuanto más avanzado esté.

Estas gráficas sirven para dejar clara la idea de que un aumento en la dedicación empleada en las fases iniciales del proyecto traerá grandes beneficios. Al no estar puestos en marcha pueden corregir errores de una forma anticipada y evitar posibles complicaciones más adelante.

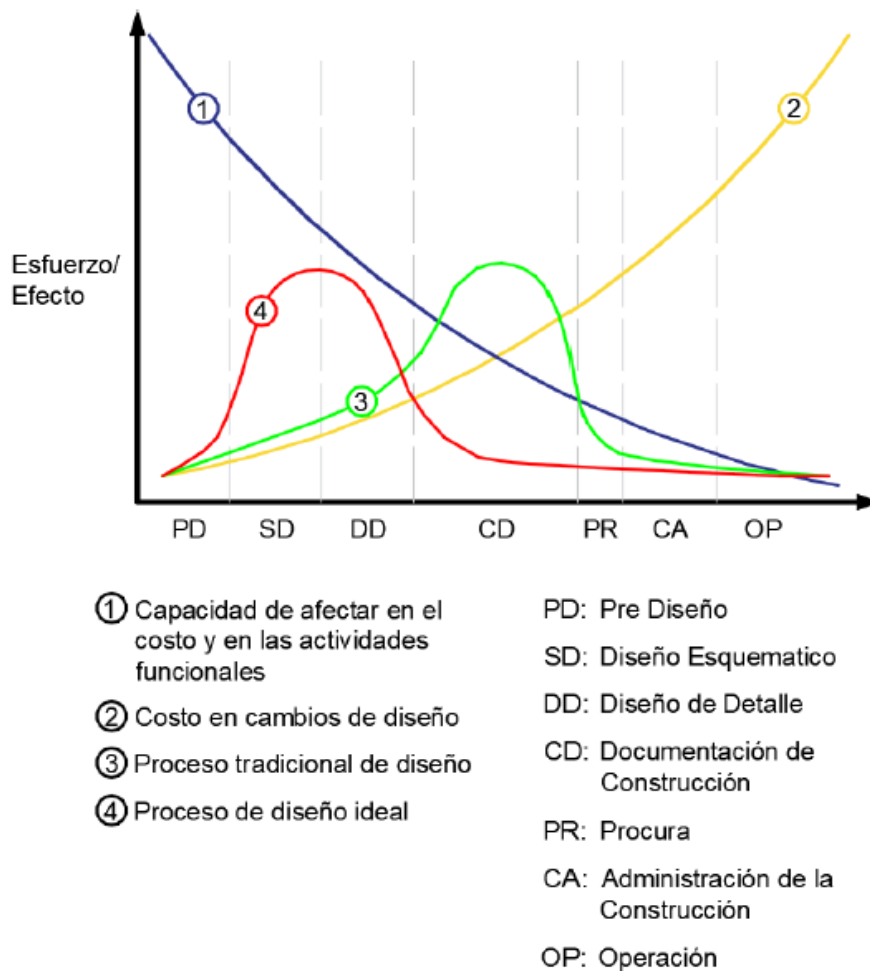


FIGURA 4. Curva de MacLeamy – Fuente: upm.es

En la Figura se observa la relación de estas dos metodologías con respecto al tiempo de trabajo que estas requieren, así como su impacto en el ámbito económico.

La curva roja correspondiente a la metodología BIM representa que la mayor parte del esfuerzo debe ser realizado en las fases iniciales del proyecto. Esto es provocado por la gran cantidad de información y parámetros que se deben de introducir en el modelo gráfico.

Pese a tener que llevar a cabo este esfuerzo en la concepción del proyecto nos veremos recompensados en las fases finales de construcción puesto que estará todo el proceso mejor planificado y nos ahorraremos elevados costes por tener que realizar posibles modificaciones.

La curva se volverá decreciente en la zona de diseño de detalle y a la hora de elaborar la documentación de construcción puesto que estos pasos en la metodología BIM son simplemente una extensión, en cierto grado automatizada, de las fases desarrolladas anteriormente.

Cuando llegamos a la fase de gestión de la construcción y gestión de las instalaciones nos encontramos con un esfuerzo prácticamente inexistente ya que solo debemos de tomar pequeñas decisiones en función del modelo diseñado

Sin embargo, la curva que hace referencia al proceso tradicional de diseño se encuentra desplazada hacia la derecha concentrando la mayor parte de sus esfuerzos en la elaboración de la documentación necesaria.

De esta forma se manifiestan las ventajas de la metodología BIM que al realizar un modelo más completo define con antelación las posteriores fases que tendrá el proceso de construcción y consigue solventar la mayor parte de inconvenientes cuando los costes son más reducidos.

2.4 VENTAJAS

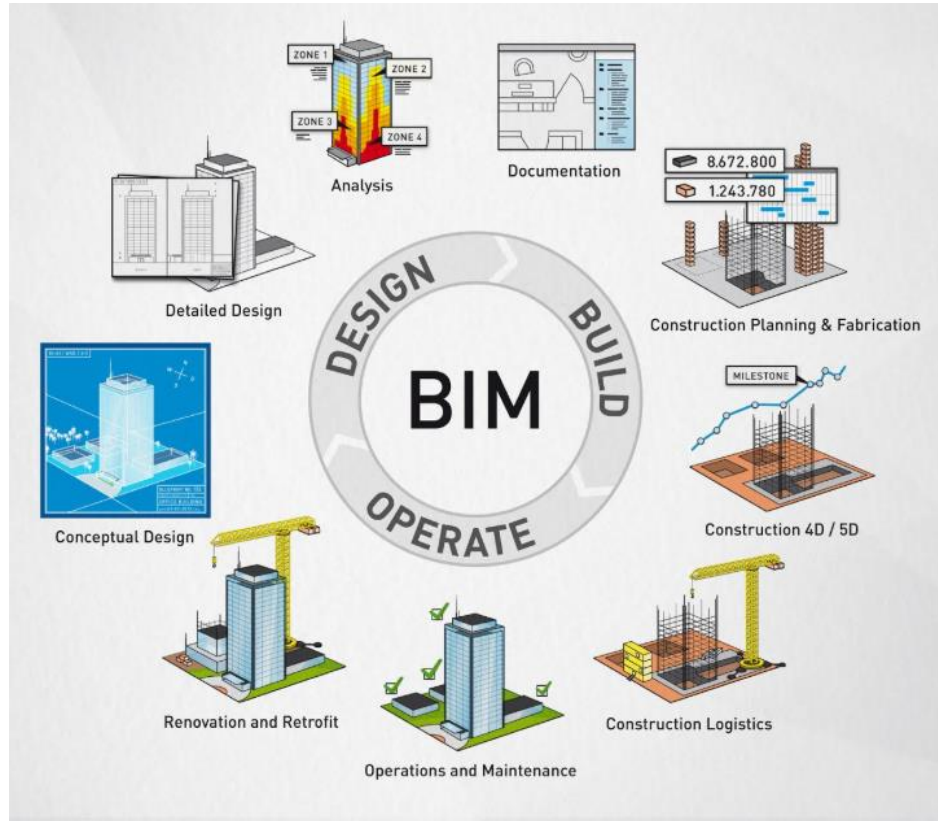


FIGURA 5. Beneficios BIM – Fuente: graebert.com

El BIM tiene un gran número de ventajas que aportar a las oficinas de diseño de proyectos y a cualquier empresa del sector industrial. Es una herramienta para planificar y gestionar el proyecto durante todo su ciclo de vida.

Gracias al BIM se podrá mejorar la calidad del diseño de los proyectos en un período más corto de tiempo por lo que mejorará la productividad y se ahorrarán costes. También contribuye a un aumento de la sostenibilidad, facilita la detección de errores y favorece la colaboración entre distintos departamentos debido a su capacidad de compartir datos.

Esta metodología hace mucho más sencillo el trabajo a los diseñadores del proyecto, pero también a los clientes, a los proveedores y a las empresas subcontratadas. Esto se debe a la capacidad de integrar en formatos de archivos compatibles toda la información de las distintas áreas del proyecto. Hay varios

fabricantes de software pero el más utilizado a la hora de trabajar con la metodología BIM es Autodesk Revit.

A nivel técnico en estos programas encontramos una gran definición de parámetros asociados a cada elemento del diseño. Tenemos la posibilidad de realizar cambios en el modelo 3D y que todos estos parámetros se actualicen automáticamente, además se detectan errores puesto que tiene la capacidad de detectar incongruencias a nivel de construcción. Otro punto destacable es que da la oportunidad a varios usuarios de trabajar de forma simultánea.

Con esta tecnología se pueden controlar todas las fases del proyecto: control en las etapas de construcción, gestión de la producción y explotación, la planificación del mantenimiento, reformas y demolición.

A continuación se enumerarán las características que sitúan el BIM como la metodología de trabajo más completa y eficiente a la hora de diseñar y gestionar proyectos industriales:

- Diseño inteligente: Cada elemento diseñado adquiere una serie de propiedades que sirven de base para la realización de cálculos y corrección errores. Cuando se realicen cambios en los diseños se actualizará automáticamente la información de la base de datos.
- Análisis y gestión a lo largo del ciclo de vida: El BIM puede realizar análisis y simulaciones de forma rápida con el objetivo de buscar la mayor eficiencia y sostenibilidad. Estos análisis nos darán información acerca del consumo energético, la sostenibilidad y los costes a lo largo del ciclo de vida con lo que podremos planificar la explotación y operación de las instalaciones.
- Mejor operabilidad: Al ser la metodología de referencia en las oficinas, industrias y proveedores es más fácil compartir datos y actualizarlos. Esto se traduce en una mejora de la comunicación.
- Documentación automática: En un modelado desarrollado con BIM solo es preciso definir el diseño gráfico y las propiedades para que toda la

documentación se genere automáticamente. Nos permite prevenir errores y ahorrar tiempo y esfuerzo.

- Mejor resultado final: Las representaciones 2D y 3D proporcionan un aspecto visualmente claro y sencillo de analizar gracias a sus planos y propiedades.
- Gestión de instalaciones: La información recopilada permite gestionar la actividad, el mantenimiento y el desmantelamiento de todas las instalaciones.

2.5 APLICACIONES DEL BIM

La metodología BIM abarca todas las fases del proyecto (planificación, diseño, construcción y explotación) ofreciendo varias herramientas útiles que consiguen conformar un ambiente de trabajo colaborativo en el que cada sector aporte su valor añadido de forma conjunta, coordinada y organizada.

Se presentan a continuación las múltiples aplicaciones que tienen los sistemas BIM.

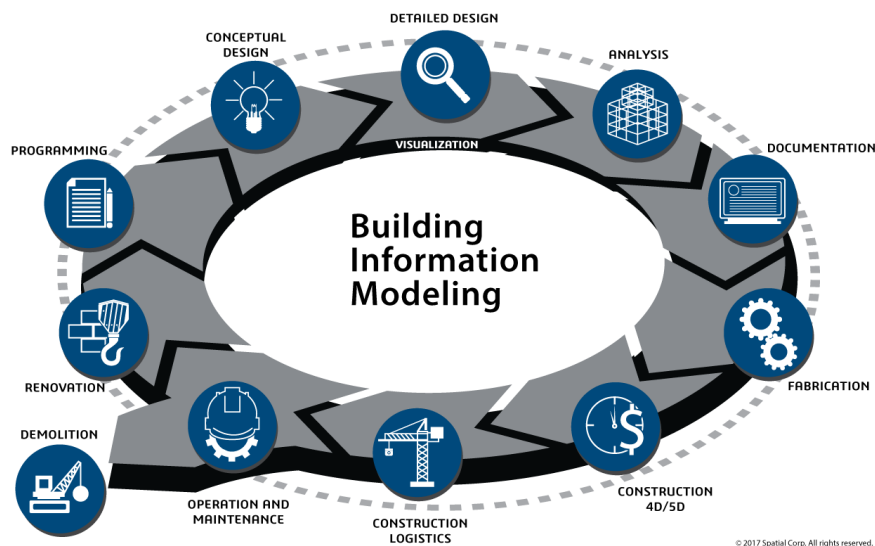


FIGURA 6. Aplicaciones del BIM – Fuente: [pinterest.com](https://www.pinterest.com)

2.5.1 Aplicaciones en el diseño gráfico BIM 3D

En cuanto el diseño gráfico en la metodología BIM, en vez de dibujar elementos con líneas en dos dimensiones, se modela directamente con objetos reales como pueden ser muros, ventanas, columnas... Esto es de gran ayuda a la hora de elaborar listas de materiales y presupuestos.

Gracias a esta forma de elaborar diseños 3D todos los datos se encuentran en un solo modelo central. Cuando se realiza una modificación en el modelo central se detectan automáticamente y se llevan a cabo en todos los demás dibujos y planos individuales. A parte de mejorar la productividad se consigue la elaboración de un modelo mejor coordinado en el que se fundamente todo el proceso constructivo.

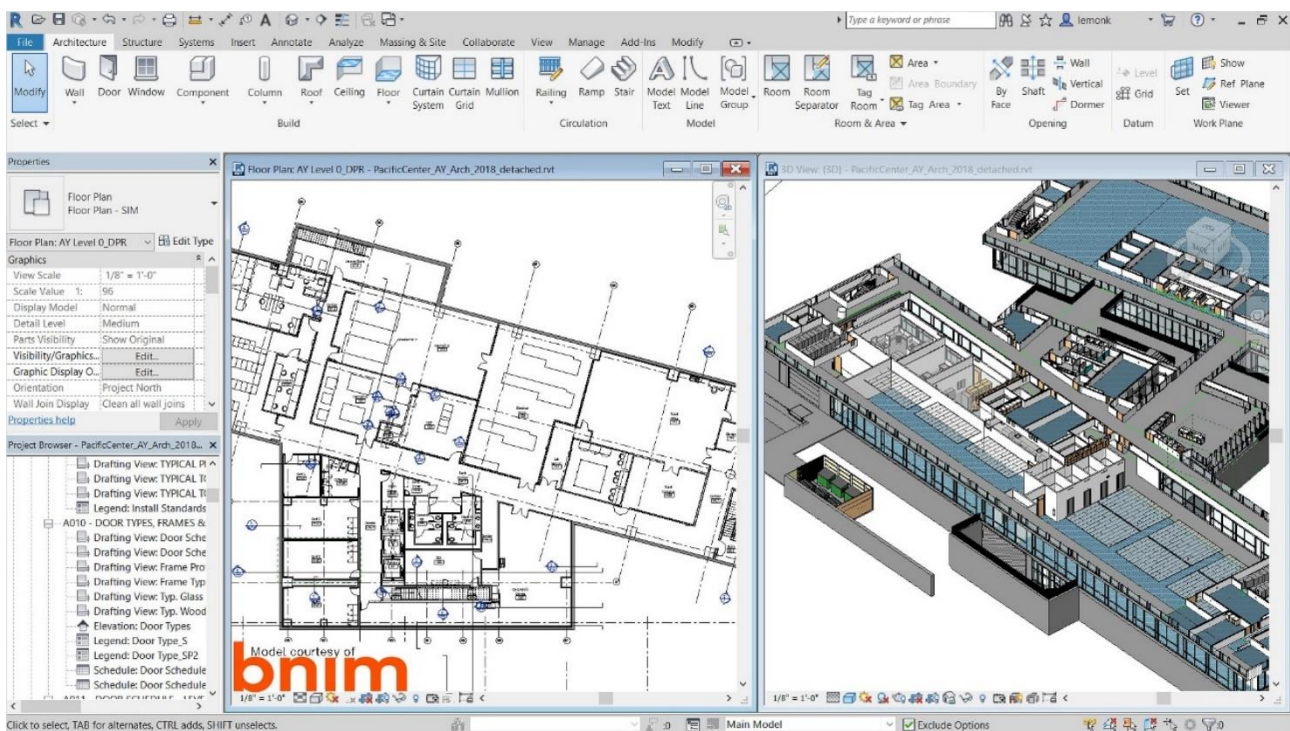


FIGURA 7. Ejemplo de modelo 3D y planos 2D en Revit – Fuente: autodesk.es

Como podemos apreciar en la Figura 7, los softwares BIM nos permiten visualizar el diseño en un modelo 3D integrado por diferentes objetos (muros, puertas, ventanas...) que será de la misma forma que el resultado final. Es por esto por lo que el BIM nos permite tener una visualización más clara de la construcción

que vamos a realizar. En la imagen también podemos apreciar una ventana con los planos 2D los cuales, en el caso de Revit, se actualizarán automáticamente al realizar cualquier cambio en el diseño 3D

2.5.2 Aplicaciones en programación temporal - BIM 4D

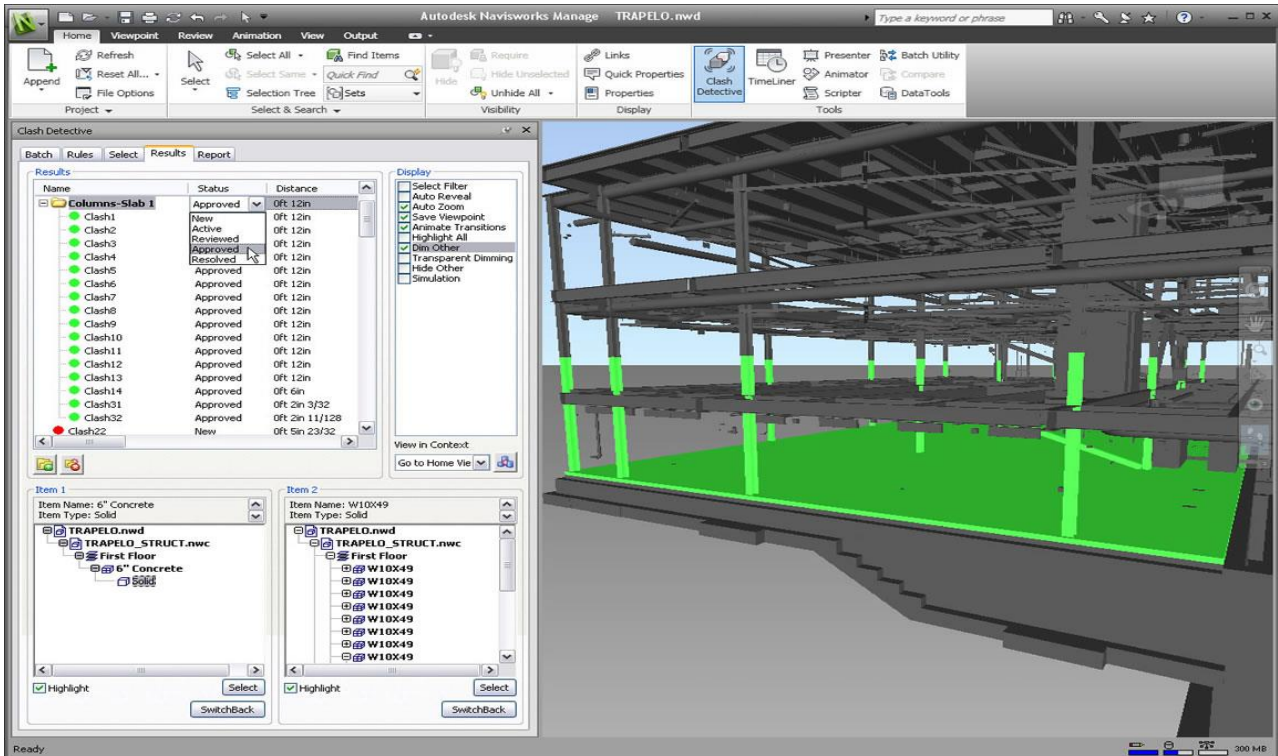


FIGURA 8. Simulación en Navisworks – Fuente: autodesk.es

Una gran innovación en la metodología BIM es la introducción del tiempo como una variable más que participa en el modelo. Una vez lograda la elaboración del modelo 3D se integra la cuarta dimensión y se elaboran plazos de tiempo durante todo el ciclo de vida.

Estas simulaciones temporales son siempre partiendo del diseño realizado previamente. A partir estos objetos y materiales se pueden llevar a cabo las programaciones y estimaciones temporales.

La programación temporal es una consecuencia directa del diseño 3D. A partir de los objetos extraemos las cantidades necesarias de recursos para poder iniciar una simulación temporal. En ella se incluyen aspectos como la productividad, el personal necesario y los costes.

El BIM 4D debe ser una herramienta de secuenciación y programación, además de control de producción en obra con el Jefe de Obra y las Subcontratas. Se debe integrar la medición de materiales necesarios para la obra, recursos, índices de productividad y los costes laborales.

Existen varios tipos de software en los que se puede realizar una animación visual en la que se aprecie cómo se van construyendo los elementos del edificio. Esta posibilidad la encontramos en programas como Navisworks, que nos permiten visualizar todo el proceso de construcción hasta llegar al producto final. El BIM 4D permite la elaboración de guías sencillas e intuitivas para los clientes que estén interesados en el análisis de la ejecución de la construcción. En estas simulaciones se aprecia el orden en el que se llevará a cabo la construcción y el tiempo que tardará en terminarse.

Además de ser una herramienta útil a la hora de visualizar el proceso de construcción el BIM 4D también es de gran utilidad en el análisis de la cadena de suministros, los plazos y las operaciones de obra. Permite a los contratistas planificar los cambios de horario y logística optimizando así las horas de trabajo pudiendo reducir el tiempo que tardará el proyecto en terminarse sin aumentar los recursos necesarios

Debemos aclarar que hay multitud de programas que son compatibles con programas de diseño gráfico BIM, como Revit, que permiten la elaboración de tablas de programación temporal como por ejemplo: Microsoft Project, Oracle Primavera, Vico Software...

2.5.3 Aplicaciones en aspectos de coste y presupuesto - BIM 5D

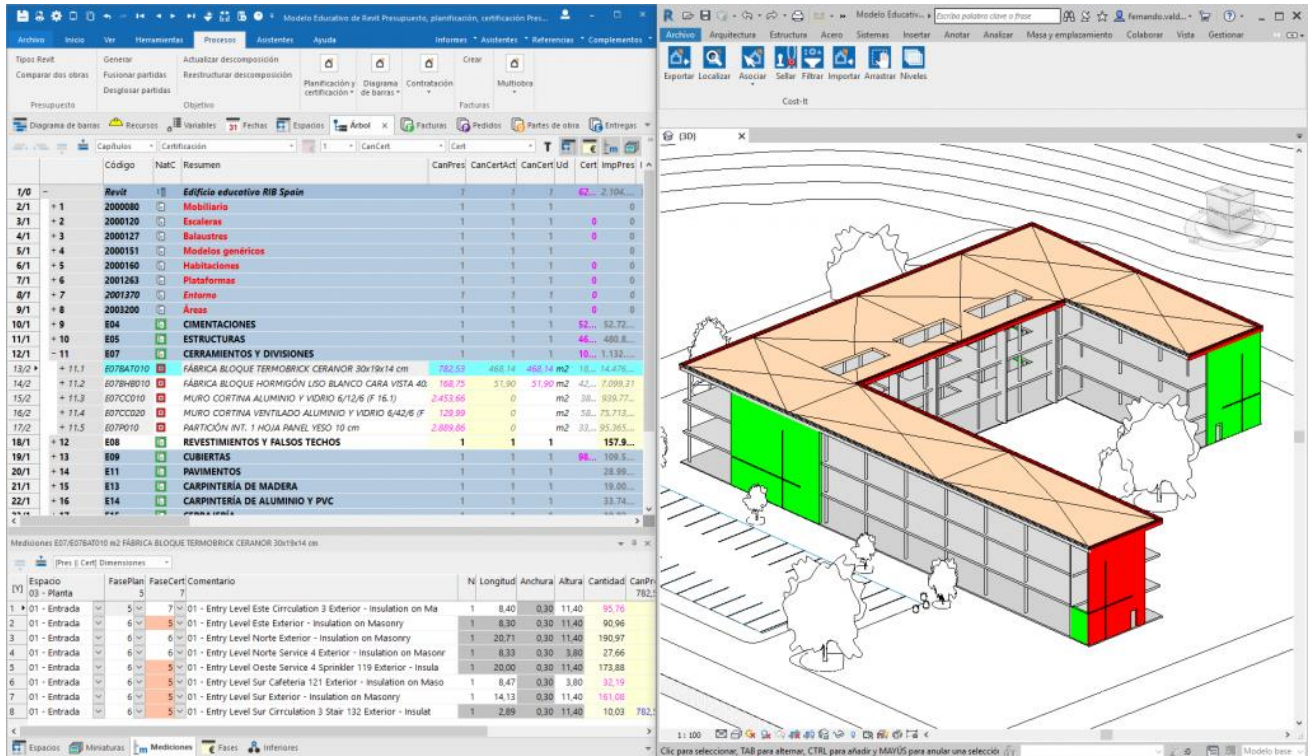


FIGURA 9. Cálculo de costes en Presto (compatibilidad con Revit) – Fuente: seystic.com

Una vez hemos confeccionado el modelo 3D junto con los planos y hemos analizado el proceso de construcción gracias a los análisis temporales, se pueden llevar a cabo estimaciones de costes, esta es la quinta dimensión del BIM.

Es de suma importancia la correcta elaboración del diseño gráfico, pues de aquí saldrán todas las programaciones temporales y las cantidades de recursos que serán la base de nuestra estimación de costes. Dejando esto claro, las aplicaciones del BIM-5D pueden llegar a ser muy productivas:

- Nos da la posibilidad de analizar cambios en la programación y el presupuesto de una manera virtual.

- Se elabora una base de datos en la que se relacionan presupuestos, costes, tasas de productividad, se organizan los grupos de trabajo de mano de obra y se analiza el rendimiento de las empresas subcontratadas
- Permite predecir el flujo de caja, en el cual se muestran los ingresos y gastos de la empresa durante la elaboración del proyecto en cierto período de tiempo

Se describe así un nuevo método de trabajo que permite la colaboración de todos los integrantes del proyecto en los sistemas BIM. Una colaboración que hace posible entender fácilmente la integración de los sistemas 5D y que facilita la labor del equipo de trabajo durante la concepción de la obra, pero sobre todo, durante la ejecución de la propia obra.

2.5.4 Aplicaciones para la sostenibilidad BIM 6D



FIGURA 10. Análisis de consumo energético con Revit – Fuente: seystic.com

La sexta dimensión del BIM, también denominada Green BIM, permite analizar el comportamiento energético de nuestro proyecto antes de que empiece su construcción. Con este análisis se podrá evaluar la sostenibilidad y viabilidad del proyecto a nivel ambiental.

El Green BIM puede examinar los materiales utilizados en la construcción, los sistemas de refrigeración y calentamiento de las instalaciones, la huella de carbono que generará a lo largo de su vida útil incorporando factores como el análisis topográfico del terreno, la orientación del edificio, el aislamiento acústico, el aprovechamiento de luz natural o la eficiencia de la energía solar.

El software BIM ha ido incorporando esta dimensión y ya es posible analizar un edificio de manera íntegra, teniendo en cuenta todas sus características funcionales, arquitectónicas y geográficas.

En la actualidad existe una gran preocupación por el calentamiento global, la contaminación de ríos los océanos, la escasez de recursos energéticos y las

emisiones contaminantes. Los desarrolladores de software son conscientes de ello y crean programas que te permitan estudiar la sostenibilidad. En estos softwares como Autodesk Revit se pueden analizar todos estos impactos ambientales y realizar simulaciones para corregir y mejorar los fundamentos ecológicos del proyecto.

2.5.5 Aplicaciones para la gestión durante el ciclo de vida BIM 7D

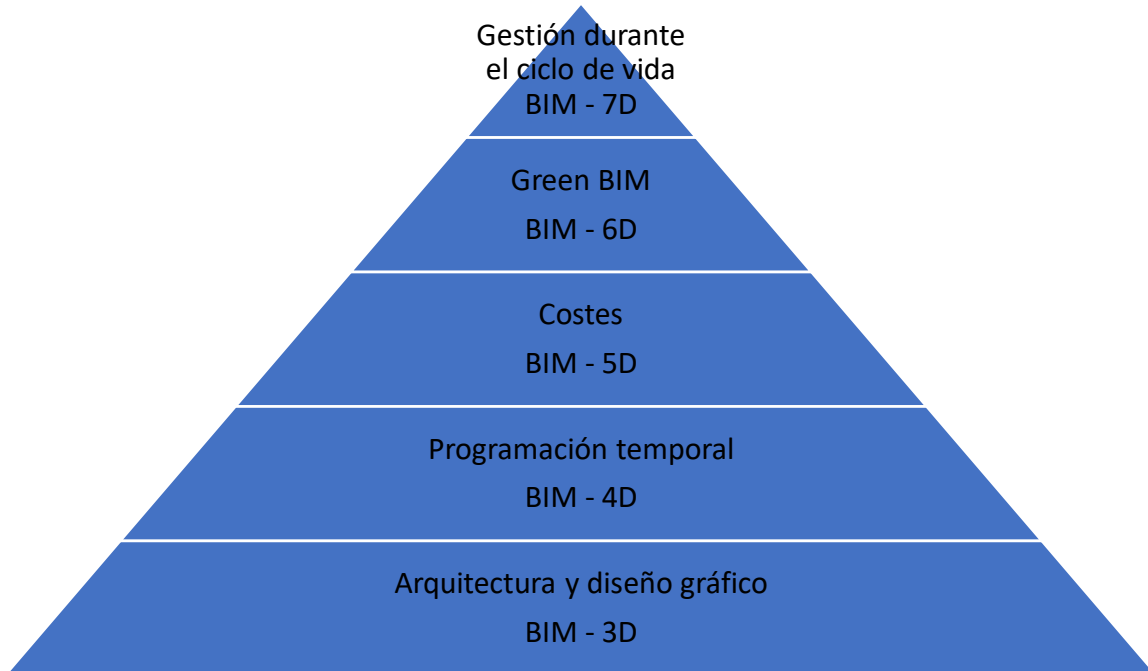


FIGURA 11. Esquema de la metodología BIM – Fuente: elaboración propia

La séptima dimensión aparece para facilitar al cliente final la gestión de las instalaciones durante todo su ciclo de vida. Se entiende por ciclo de vida al tiempo que transcurre desde su diseño hasta su demolición.

Es complicado desarrollar un software que permita a los gestores de las instalaciones trabajar de forma cómoda para gestionar su edificio. Cuando se les entrega la información técnica, en referencia a las instalaciones para que puedan gestionarla, suele ser bastante incompleta y complicada de comprender. Como vimos anteriormente, en los métodos más tradicionales la elaboración de la documentación era la parte más laboriosa, sin embargo, en los proyectos elaborados con BIM esta se elabora de forma sistemática y con todo nivel de detalle. Este aspecto es de gran importancia puesto que la mayor parte del ciclo de vida va a depender de la correcta gestión de las instalaciones que estarán trabajando continuamente.

Los beneficios y mejoras que aporta el BIM en la gestión de instalaciones en la empresa son los siguientes:

- Mantenimiento preventivo: El mantenimiento preventivo ayuda a evitar averías antes de que se produzcan. Al estar todas las instalaciones diseñadas en BIM se podrá disponer de una información más detallada que facilitará la identificación de los puntos más críticos.
- Actualización de archivos: A lo largo del ciclo de vida se irán produciendo cambios y reformas en las instalaciones. Al estar todas recogidas en un modelo único se actualizarán todos los planos y todos los datos automáticamente.
- Administración de documentos: Se proporciona una extensa cantidad de información a cerca de los elementos que componen el proyecto.
- Apariencia: En BIM los modelos elaborados son más claros que los de CAD. Al estar construido cada elemento con los materiales reales que lo compondrán es más sencillo identificarlos.
- Mejoras de eficiencia energética: Gracias a los análisis que puede proporcionar la metodología BIM se facilitará el trabajo a la hora de realizar modificaciones en las instalaciones.

Estos beneficios son derivados de la capacidad que tienen los sistemas BIM a la hora de parametrizar todas las características del modelo. Una vez terminado el diseño 3D la base de datos recopila información sobre los materiales del producto, guías de mantenimiento, imágenes, información del proveedor...

Los datos recopilados estarán disponibles al usuario mediante un entorno personalizable en el que se tenga un acceso claro a la información. De esta manera el gestor de las instalaciones tendrá una información ordenada y completa.

Como podemos apreciar el BIM y la Gestión de Instalaciones están relacionadas en muchos aspectos. El BIM es una base de datos en la cual se pueden obtener informes detallados sobre todas las instalaciones, en ella el personal que gestione la fase de operación del proyecto puede obtener información de una manera intuitiva.

3. MODELO PARA EL ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO

Para poder realizar una justificación técnica y económica sobre la implantación de la metodología BIM en oficinas de diseño de proyectos industriales se desarrollará un modelo en el que se tendrán en cuenta aspectos como la envergadura de la empresa, tomando como referencia el presupuesto destinado a personal, el grado de tecnificación de la empresa, la inversión inicial requerida para la implementación de este nuevo software de trabajo, etc.

En el modelo que se describirá a continuación se estudiará la rentabilidad de la implementación de la metodología BIM en diferentes situaciones, las cuales vendrán determinadas por el tipo de oficina en la que se quiera implantar. Para ello se elaborará una hoja Excel en la que a partir de un sistema inputs/outputs se podrá valorar los costes y los beneficios que conllevará la adecuación de la empresa al método BIM.

Para analizar los resultados finales se atenderá a ciertos indicadores de rentabilidad como son el TIR (tasa interna de retorno), el VAN (valor actual neto), el payback (plazo de recuperación de la inversión inicial). Estos valores definirán los beneficios que pueden suponer para la empresa la implantación de dicho sistema. Se observará y analizará la variación de los mismos respecto a los inputs introducidos y se expondrá el motivo de su fluctuación haciendo una reflexión a cerca de la rentabilidad de la implantación del BIM según cada caso.

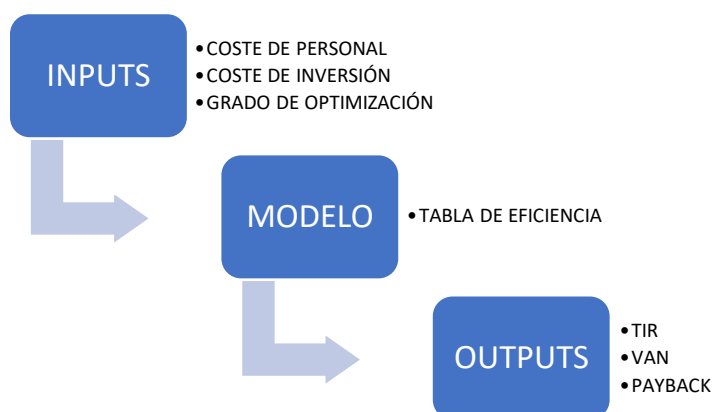


FIGURA 12. Esquema del modelo – Fuente: elaboración propia

3.1 DATOS DE ENTRADA (INPUTS)

En este apartado se describirán las diferentes variables que condicionarán los resultados finales del estudio de la implantación del BIM. Estas variables representarán el grado de sofisticación técnica y el volumen económico de la empresa a la que se desee aplicar el modelo. Combinando estos diferentes inputs se conseguirá abarcar oficinas de todo tipo y se podrá analizar la rentabilidad de la implantación de cada una de ellas.

En la tabla que se muestra a continuación aparecen todos los datos de entrada que afectarán al modelo por el que se evaluará la rentabilidad económica de implementar el BIM en la oficina de proyectos industriales. Se debe de tener en cuenta que la tabla presentada es solo un ejemplo de uno de los casos estudiados, pues más adelante se examinarán varias tablas de diferentes tipos de empresas buscando recoger datos que puedan aplicarse a múltiples especies de oficinas.

COSTE ACTUAL PERSONAL	1.000.000,00 €
GRADO OPTIMIZACIÓN	4
COEF. EFICIENCIA	0,04
TASA DESCUENTO -%	4,5%
IPC - %	1,8%

TABLA 1. Datos de entrada - Fuente: elaboración propia

Coste actual de personal: El coste de personal representa el volumen económico de la oficina de proyectos y será un dato de referencia para estudiar las diferentes posibilidades que entran en los distintos casos de estudio.

Este parámetro está en función de los gastos que suponen los trabajadores para la oficina de manera anual. Se planteará este modelo para los presupuestos de personal de: quinientos mil euros, un millón de euros y diez millones de euros. De esta manera conseguiremos representar oficinas de pocos trabajadores, oficinas de un tamaño mediano y oficinas de un gran número de trabajadores.

Grado de optimización: El grado de optimización simboliza el grado de tecnificación de la oficina a la que se aplica el modelo. A continuación se muestran todas las posibilidades planteadas:

GRADO OPTIMIZACIÓN	
TIPO	COEF. EFICIENCIA
1	10,00%
2	8,00%
3	6,00%
4	4,00%
5	2,00%

TABLA 2. Grados de optimización- Fuente: elaboración propia

El tipo de grado de optimización escogido modificará automáticamente el coeficiente de eficiencia en la tabla de datos de entrada. Se estudiará cada caso con estos cinco tipos de grado de optimización.

Este coeficiente de eficiencia representa el nivel técnico de la empresa y tendrá una importante repercusión en el payback. A mayor tipo de grado de optimización, es decir, a menor coeficiente de eficiencia, la oficina presentará un mayor nivel de tecnificación.

GRADO OPTIMIZACIÓN		
TIPO	DESCRIPCIÓN	COEF. EFICIENCIA
1	Oficina con procesos tradicionales, tecnificación prácticamente nula.	0,1
2	Oficina con métodos básicos, proyectos mal elaborados, tecnificación escasa.	0,08
3	Oficina con ciertos métodos mejorables y personal con necesidad de formarse, tecnificación media.	0,06
4	Oficinas con procesos automatizados y con personal preparado, buena tecnificación.	0,04
5	Oficina completamente automatizados y con personal cualificado, alta tecnificación.	0,02

TABLA 3. Definición grados de optimización – Fuente: elaboración propia.

Cuanto mayor sea el grado de tecnificación menos efectos tendrá la implantación del BIM puesto que en esa empresa ya se tiene un software eficaz que consigue una buena rentabilidad a nivel económico para ella. Esto tendrá como consecuencia un aumento del tiempo necesario para recuperar la inversión inicial (payback). Sin embargo, si la oficina tiene una manera de trabajar más tradicional, el payback se reducirá por la optimización que supone el BIM para las empresas.

Tasa de descuento: La tasa de descuento es el tipo de interés que se utiliza para obtener el valor actual de un flujo de fondos que se obtendrán en el futuro. Este valor es de gran interés en el análisis de los proyectos de inversión. Cuanto mayor sea esta tasa, menor será el valor actual del capital.

Es importante, además de dejar clara la definición de este concepto, tener en cuenta cómo se calcula este valor. Según el tipo de financiación de la inversión tendremos las siguientes maneras de obtener su valor, atendiendo a las siguientes formas de calcular el coste del capital empleado:

- 1- Proyectos financiados solo con fondos propios: Si se decide realizar una inversión disponiendo de todos los fondos necesarios para ella y no se precisan recursos ajenos debemos tener en cuenta el coste de oportunidad de la misma. El coste de oportunidad en este caso es el valor descartado debido a la realización de la inversión. Cuando toda la inversión se capitaliza con los recursos propios se debe exigir como mínimo recuperar el valor que dejaríamos de obtener por no dedicar nuestros fondos a una inversión alternativa.
- 2- Proyectos financiados solo con fondos ajenos: Si por el contrario no se dispone de fondos y se acude a una entidad bancaria para financiar la inversión a través de un crédito, solicitando para ello el 100% de los fondos, la tasa de descuento será el coste de este crédito, es decir, el tipo de interés más las tasas bancarias (Tasa anual equivalente, TAE). Esto es lo que se denomina como coste de la deuda.
- 3- Proyectos financiados con fondos propios y ajenos: Como última forma de financiación nos podemos encontrar con el caso intermedio a los dos anteriormente descritos. En esta situación en la que recurriremos tanto a nuestro propio capital como a capital ajeno debemos calcular el coste medio ponderado entre estos dos tipos de fondos. Este promedio dependerá del volumen de inversión que represente cada una de las

inversiones con respecto a la total. Este concepto se denomina coste de capital.

Una vez determinemos el coste total de los recursos financieros es preciso evaluar otro factor que será de vital importancia para calcular el valor de la tasa de descuento. Este factor es el riesgo de la inversión que se va a efectuar, cuanto mayor sea el riesgo, mayor rentabilidad se debería exigir y esto conllevaría un aumento de la tasa de descuento.

Teniendo en cuenta todos los agentes anteriormente comentados se obtiene la tasa de descuento a partir de la expresión:

$$\textit{Tasa de descuento} = \textit{Rentabilidad mínima} + \textit{Prima de riesgo}$$

Para llegar al valor de una tasa de descuento del 4%, la fijada en este modelo, se ha tenido en cuenta información extraída del Banco Mundial en la que se aconseja que para proyectos de este tipo se asocie dicho valor.

IPC: El IPC (Índice de precios de consumo) es un indicador variable en el tiempo que indica la media estadística de la evolución de los precios de los bienes y servicios que se consumen en España.

En nuestro modelo nos permite actualizar año tras año los costes destinados al personal pues al ser la implantación del BIM una inversión a largo plazo se estima que dichos costes aumenten a lo largo de los años. Con este dato se persigue hacer un modelo más completo y exacto a cerca de la rentabilidad de esta inversión económica.

Como referencia para fijar este dato se ha utilizado información extraída del Instituto Nacional de Estadística (INE) donde se establece que el valor promedio de los últimos años del IPC es del 1,6% y, como se ha mencionado anteriormente, al ser esta una inversión a largo plazo se ha supuesto un incremento del mismo en un 0,2% hasta alcanzar el valor de 1,8% fijado en la tabla, el cual corresponde a un valor más preciso y adecuado para nuestro modelo.

Otro dato de entrada de referencia es el coste de inversión. Se asocia un valor a la cantidad de capital invertida para implementar el BIM. Se plantearán los distintos casos de cincuenta mil, un millón y diez millones de euros para analizar las diferencias.

COSTE SOPORTE TÉCNICO (€/año)	10.000,00 €
COSTE DE INVERSIÓN (€)	100.000,00 €

TABLA 4. Costes de inversión - Fuente: elaboración propia

Para finalizar se añaden unos costes de soporte técnico. En este importe se encuentran los gastos correspondientes a la incorporación de un nuevo software a la oficina que conllevará el coste de mantenimiento o soporte técnico y la formación necesaria para poder utilizarlo correctamente. Se ha definido este coste de soporte para unificar todos estos posibles gastos normalmente rondan el 10% de la inversión en proyectos de este tipo. Como resultado de lo anteriormente comentado tenemos esta expresión:

$$\text{Coste Soporte Técnico (€/año)} = 0.1 * \text{Coste de Inversión (€)}$$

3.2 TABLA DE EFICIENCIA BIM

Una vez aclarada la tabla de entrada se ha de presentar la tabla de eficiencia. Esta tabla recoge los valores más representativos del modelo llevado a cabo, mostrarán la evolución económica de la inversión a lo largo de veinte años. Para mejorar la precisión de este análisis se han incorporado a la tabla parámetros de rentabilidad como el IPC, el VAN (Valor Actual Neto) y el TIR (Tasa Interna de Retorno)

A continuación se describirán cada una de las columnas que conforman esta tabla de eficiencia basándonos en un ejemplo orientativo:

Columna 1: Se corresponde con el año en el que se está realizando el análisis económico.

AÑOS
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20

TABLA 5. Columna 1 tabla de eficiencia - Fuente: elaboración propia

Columna 2: Expresa el coste de personal de la oficina trabajando de forma habitual sin la implementación del BIM. En el año cero este valor coincide con el valor inicial introducido en la tabla de entrada y proporcionado por la oficina. En los próximos años este coste seguirá representando el presupuesto de la oficina trabajando sin metodología BIM pero actualizando este valor con respecto al IPC comentado anteriormente.

Este coste se calcula a partir del año cero según la siguiente expresión, en la que x representa el año en el que se quiere calcular el parámetro.

$$\text{Coste actual de personal (x)} = \text{Coste actual de personal (0)} * (1 + IPC)^n$$

COSTE ACTUAL DE PERSONAL
1.000.000,00 €
1.017.500,00 €
1.035.306,25 €
1.053.424,11 €
1.071.859,03 €
1.090.616,56 €
1.109.702,35 €
1.129.122,15 €
1.148.881,78 €
1.168.987,21 €
1.189.444,49 €
1.210.259,77 €
1.231.439,31 €
1.252.989,50 €
1.274.916,82 €
1.297.227,86 €
1.319.929,35 €
1.343.028,11 €
1.366.531,11 €
1.390.445,40 €
1.414.778,20 €

TABLA 6. Columna 2 tabla de eficiencia - Fuente: elaboración propia

Columna 3: Esta columna muestra el coste de personal con el BIM ya implantado en la oficina y, al igual que en la columna anterior, el cálculo del valor del mismo en el año cero se calcula de manera diferente que para los años posteriores.

Para hallar el valor del año cero simplemente debemos sumar el coste de personal sin la metodología BIM implantada (columna 2) y el coste de la inversión realizada (tabla de datos de entrada) resultando la fórmula para calcular el importe de este año:

$$\text{Coste actual de personal con BIM (0)} = \text{Coste actual de personal (0)} + \text{Coste de Inversion}$$

El coste de personal a partir del año cero se calcula de manera diferente puesto que el coste de inversión se asume en su totalidad en el primer año de implantación (año 0). Para hallar el valor de este parámetro debemos tener en cuenta el grado de optimización de la oficina que marcará la diferencia entre el coste de personal y el coste de personal con BIM. De esta manera se calcula el coste actual de personal con BIM sumando el coste de personal, actualizado en función del coeficiente de eficiencia, y el coste de soporte técnico como se muestra en la siguiente expresión:

$$\text{Coste actual de personal con BIM (n)} = \text{Coste actual de personal(n)} * (1 - \text{Coef. Eficiencia}) + \text{Coste de soporte tecnico}$$

COSTE PERSONAL - CON BIM
1.100.000,00 €
966.450,00 €
983.187,88 €
1.000.218,66 €
1.017.547,49 €
1.035.179,57 €
1.053.120,21 €
1.071.374,82 €
1.089.948,88 €
1.108.847,98 €
1.128.077,82 €
1.147.644,18 €
1.167.552,96 €
1.187.810,13 €
1.208.421,81 €
1.229.394,19 €
1.250.733,59 €
1.272.446,43 €
1.294.539,24 €
1.317.018,68 €
1.339.891,50 €

TABLA 7. Columna 3 tabla de eficiencia - Fuente: elaboración propia

Columna 4: Aquí se calcula el ahorro que supone para la empresa la implementación del BIM haciendo la resta entre la columna dos y tres. Simplemente se halla la diferencia entre el coste de personal y el coste de personal con BIM.

Como veremos a continuación, en el año cero de cada columna el valor del ahorro será negativo, puesto que ese año es en el cual se lleva a cabo la inversión inicial.

AHORRO
-100.000,00 €
51.050,00 €
52.118,38 €
53.205,45 €
54.311,54 €
55.436,99 €
56.582,14 €
57.747,33 €
58.932,91 €
60.139,23 €
61.366,67 €
62.615,59 €
63.886,36 €
65.179,37 €
66.495,01 €
67.833,67 €
69.195,76 €
70.581,69 €
71.991,87 €
73.426,72 €
74.886,69 €

TABLA 8. Columna 4 tabla de eficiencia - Fuente: elaboración propia

Columna 5: Esta columna muestra el VAN que no es más que el ahorro actualizado en función de la tasa de descuento. Representa el valor del ahorro calculado en la columna 4 con mayor precisión puesto que tiene en cuenta la tasa de descuento introducida en la tabla de datos de entrada y proporciona mayor exactitud a la hora de evaluar el ahorro que supone la implementación del BIM.

La forma de actualizar el valor del ahorro para obtener el VAN se muestra en la siguiente expresión:

$$VAN(n) = \text{Ahorro}(n) / (1 + \text{Tasa de descuento})^n$$

VAN
-100.000,00 €
48.851,67 €
47.726,36 €
46.623,75 €
45.543,56 €
44.485,47 €
43.449,19 €
42.434,38 €
41.440,74 €
40.467,96 €
39.515,70 €
38.583,65 €
37.671,48 €
36.778,87 €
35.905,50 €
35.051,04 €
34.215,18 €
33.397,59 €
32.597,94 €
31.815,93 €
31.051,23 €

TABLA 9. Columna 5 tabla de eficiencia - Fuente: elaboración propia

Columna 6: Se muestra el VAN acumulado a lo largo de los años. Es un parámetro de suma importancia porque nos sirve para estimar cuándo se va a empezar a recuperar la inversión inicial. Esta inversión estará amortizada cuando el valor de esta columna cambie de negativo a positivo. Para hallar este valor basta con sumar todos los importes de la columna 5 hasta el año en el que se quiera calcular, es decir:

$$VAN\ Acumulado(n) = \sum_{n=0}^n VAN(n)$$

VAN ACUMULADO
-100.000,00 €
-51.148,33 €
-3.421,97 €
43.201,78 €
88.745,34 €
133.230,82 €
176.680,00 €
219.114,38 €
260.555,13 €
301.023,08 €
340.538,78 €
379.122,42 €
416.793,90 €
453.572,77 €
489.478,27 €
524.529,32 €
558.744,50 €
592.142,09 €
624.740,03 €
656.555,96 €
687.607,19 €

TABLA 10. Columna 6 tabla de eficiencia - Fuente: elaboración propia

Columna 7: Por último en esta columna se calcula el TIR, un parámetro que nos sirve para analizar la rentabilidad de la inversión. Aquí se muestra el porcentaje de beneficio o pérdida que supone la inversión para las cantidades aún no retiradas del proyecto, aun así se explicará en mayor profundidad en apartados posteriores.

Este valor porcentual puede ser positivo o negativo y no se calcula para el año cero puesto que no tiene sentido al ser el año en el que se realiza la inversión.

TIR
-49%
2%
26%
38%
44%
48%
50%
51%
52%
52%
53%
53%
53%
53%
53%
53%
53%
53%
53%
53%

TABLA 11. Columna 7 tabla de eficiencia - Fuente: elaboración propia

Agrupando todas las columnas descritas anteriormente se forma la denominada “tabla de eficiencia”. En ella se recogen los valores más representativos del análisis de la inversión durante un período de veinte años, aunque este período puede modificarse fácilmente debido a la elaboración de una hoja de cálculo Excel en la que se relacionan todos los parámetros que intervienen en el modelo.

AÑOS	COSTE PERSONAL ACTUAL	COSTE PERSONAL CON BIM	AHORRO	VAN	VAN ACUMULADO	TIR
0	1.000.000,00 €	1.100.000,00 €	-100.000,00 €	-100.000,00 €	-100.000,00 €	
1	1.017.500,00 €	966.450,00 €	51.050,00 €	48.851,67 €	-51.148,33 €	-49%
2	1.035.306,25 €	983.187,88 €	52.118,38 €	47.726,36 €	-3.421,97 €	2%
3	1.053.424,11 €	1.000.218,66 €	53.205,45 €	46.623,75 €	43.201,78 €	26%
4	1.071.859,03 €	1.017.547,49 €	54.311,54 €	45.543,56 €	88.745,34 €	38%
5	1.090.616,56 €	1.035.179,57 €	55.436,99 €	44.485,47 €	133.230,82 €	44%
6	1.109.702,35 €	1.053.120,21 €	56.582,14 €	43.449,19 €	176.680,00 €	48%
7	1.129.122,15 €	1.071.374,82 €	57.747,33 €	42.434,38 €	219.114,38 €	50%
8	1.148.881,78 €	1.089.948,88 €	58.932,91 €	41.440,74 €	260.555,13 €	51%
9	1.168.987,21 €	1.108.847,98 €	60.139,23 €	40.467,96 €	301.023,08 €	52%
10	1.189.444,49 €	1.128.077,82 €	61.366,67 €	39.515,70 €	340.538,78 €	52%
11	1.210.259,77 €	1.147.644,18 €	62.615,59 €	38.583,65 €	379.122,42 €	53%
12	1.231.439,31 €	1.167.552,96 €	63.886,36 €	37.671,48 €	416.793,90 €	53%
13	1.252.989,50 €	1.187.810,13 €	65.179,37 €	36.778,87 €	453.572,77 €	53%
14	1.274.916,82 €	1.208.421,81 €	66.495,01 €	35.905,50 €	489.478,27 €	53%
15	1.297.227,86 €	1.229.394,19 €	67.833,67 €	35.051,04 €	524.529,32 €	53%
16	1.319.929,35 €	1.250.733,59 €	69.195,76 €	34.215,18 €	558.744,50 €	53%
17	1.343.028,11 €	1.272.446,43 €	70.581,69 €	33.397,59 €	592.142,09 €	53%
18	1.366.531,11 €	1.294.539,24 €	71.991,87 €	32.597,94 €	624.740,03 €	53%
19	1.390.445,40 €	1.317.018,68 €	73.426,72 €	31.815,93 €	656.555,96 €	53%
20	1.414.778,20 €	1.339.891,50 €	74.886,69 €	31.051,23 €	687.607,19 €	53%

TABLA 12. Tabla de eficiencia completa - Fuente: elaboración propia

3.3 OUTPUTS – INDICADORES DE RENTABILIDAD

Una vez explicadas las anteriores tablas es preciso definir los resultados finales del modelo. Estos resultados serán indicadores de rentabilidad como el VAN, el TIR o el payback asociados a diferentes periodos de tiempo

3.3.1 Valor Actual Neto (VAN)

El Valor Actual Neto (VAN) es un criterio de inversión que consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto o inversión para conocer cuánto se va a ganar o perder con dicha inversión. También se conoce el VAN como VPN (Valor Presente Neto)

Para conseguir esto trae todos los flujos de caja al momento presente estableciendo una tasa de descuento determinada. El VAN expresa una medida de rentabilidad del proyecto en términos absolutos netos y en el presente. Se utiliza este indicador para valorar distintas opciones de inversión ya que calculándolo vamos a saber con cuál de ellas ingresaremos mayores beneficios. El VAN se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+k)} + \frac{F_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+k)^n}$$

En la que las variables que nos encontramos son:

- F_t : Son los flujos de dinero en cada periodo t . En nuestro modelo se corresponde con el valor del ahorro.
- I_0 : Es la cantidad correspondiente a la inversión inicial. En nuestro caso es el dato de entrada del coste de inversión.
- n : Es el número de años en el que se quiere efectuar el estudio. En el modelo se realizarán diferentes análisis dependiendo de la oficina a estudiar.
- k : Es la tasa de descuento utilizada, la cual es fijada al principio del modelo en la tabla de datos de entrada.

El VAN nos sirve principalmente para analizar la viabilidad de las inversiones y también para compararlas entre ellas para apreciar cual es mejor que otra en términos absolutos. Los criterios para tomar estas decisiones son los que se presentan a continuación:

- Si el $VAN > 0$ el valor actualizado de los cobros y pagos futuros de la inversión, a la tasa de descuento elegida, generará beneficios.
- Si el $VAN = 0$ el proyecto de inversión no genera ni beneficios ni pérdidas.
- Si el $VAN < 0$ entonces la inversión generará pérdidas por lo que no se debe llevar a cabo.

3.3.2 Tasa Interna de Retorno (TIR)

Otro de los indicadores de rentabilidad que influye en el modelo es la Tasa Interna de Retorno (TIR) que ofrece una inversión. El TIR es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto.

Esta medida utilizada en la evaluación de proyectos de inversión está muy ligada al VAN, de hecho también se puede definir como el valor de la tasa de descuento que hace que el VAN sea nulo. Esto se puede apreciar en la siguiente gráfica en la que vemos la evolución del VAN con respecto a la tasa de descuento aplicada.

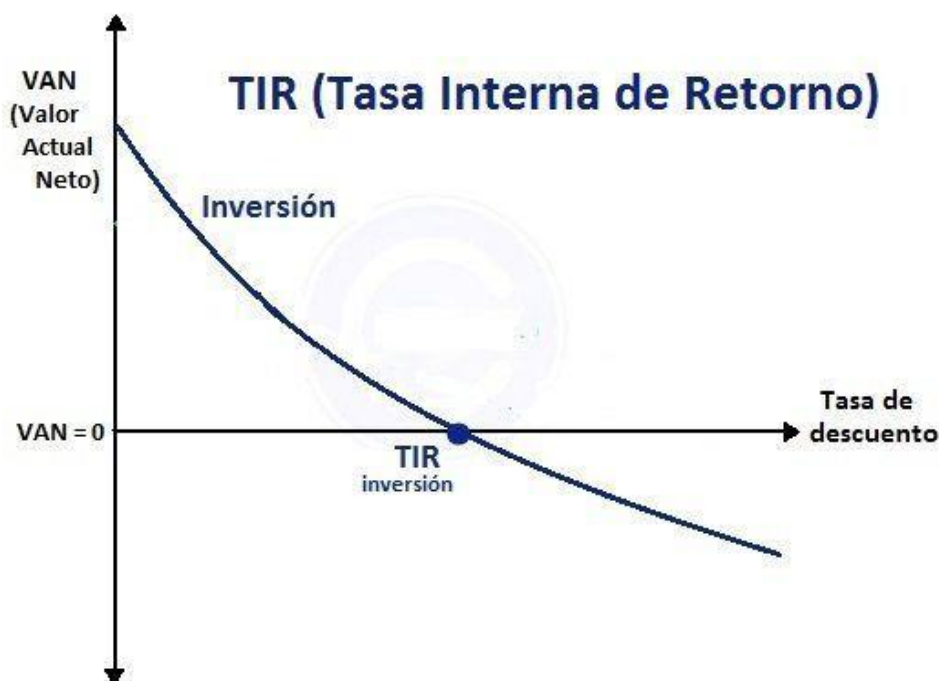


GRÁFICO 1 VAN en función de la Tasa de descuento. –
Fuente: economipedia.com

El TIR nos da una medida relativa de rentabilidad ya que viene expresada en tanto por ciento y para calcular su valor se va a recurrir a la siguiente expresión, fundamentada en lo comentado en el párrafo anterior.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+TIR)} + \frac{F_2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+TIR)^n} = 0$$

Una vez obtenido el TIR se seguirán los siguientes criterios de selección de inversión según la comparación con k (tasa de descuento elegida para el cálculo del VAN):

- Si el $TIR > k$ el proyecto de inversión será adecuado ya que la tasa de rendimiento que obtenemos es superior a la tasa mínima de rentabilidad exigida a la inversión.
- Si el $TIR = k$ la inversión es indiferente, sucede lo mismo que en la situación en la que el $VAN = 0$.
- Si el $TIR < k$ el proyecto no debe llevarse a cabo ya que no se alcanza la rentabilidad mínima que se le exige a la inversión.

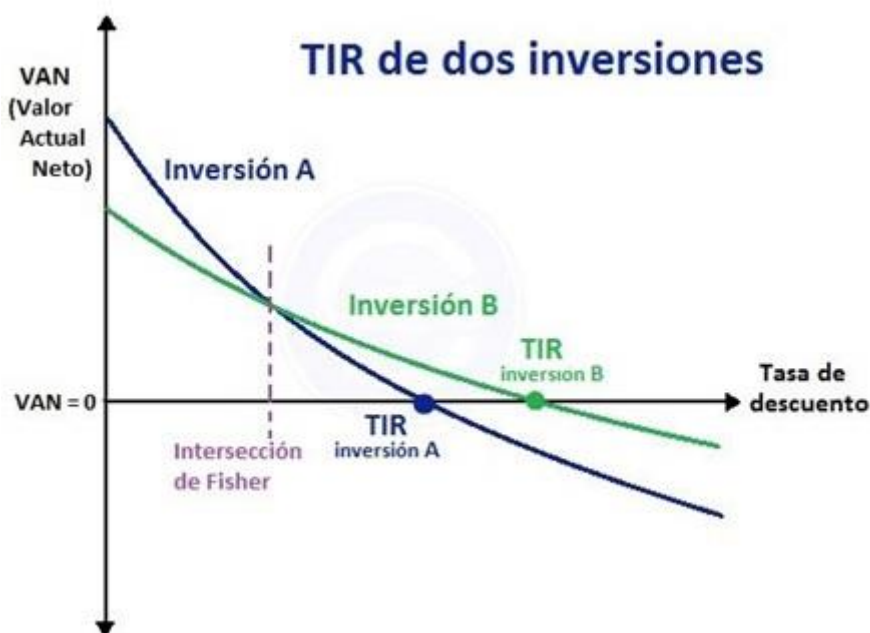


GRÁFICO 2 Comparación del TIR de dos inversiones. –
Fuente: economipedia.com

3.3.3 Payback descontado

El payback descontado o plazo de recuperación descontado de una inversión es un método dinámico para analizar inversiones que determina el momento en que se recupera el dinero de la inversión, teniendo en cuenta en este cálculo los efectos del paso del tiempo en el capital.

Representa el tiempo que tarda en recuperarse la inversión mientras se tiene en cuenta el momento en el que se producen los flujos de dinero. Se utiliza como un método para evaluar inversiones arriesgadas que permite completar el estudio realizado con el TIR y el VAN.

Para calcularlo se recurre a la siguiente fórmula en la que encontramos diferentes variables:

$$\text{Payback} = a + \frac{I_0 - b}{F_t}$$

- a: Es el año anterior al periodo en el que se recupera la inversión inicial, es decir, el periodo en el que el VAN acumulado pasa de negativo a positivo.
- b: Es la suma de los flujos de caja hasta el final de periodo ``a'', en nuestro modelo se corresponde con el último valor negativo del VAN acumulado.
- F_t: Es el valor del flujo de caja del año en el que se recupera la inversión, se corresponde con el valor del VAN en el año ``a+1''

Todos estos indicadores se recogen en la siguiente tabla que evalúa dichos indicadores con respecto a tres periodos de tiempo diferentes: a diez años, a quince años y a veinte.

A 10 AÑOS	
VAN	340.538,78 €
TIR	52%
A 15 AÑOS	
VAN	524.529,32 €
TIR	53%
A 20 AÑOS	
VAN	687.607,19 €
TIR	53%
PAYBACK - años	2,07

TABLA 13. Outputs: indicadores de rentabilidad - Fuente: elaboración propia

3.4 HOJA DE CÁLCULO

A continuación se expone el modelo al completo (página siguiente), diseñado para que los datos se introduzcan en la tabla de entrada y automáticamente se elabore la tabla de eficiencia. De esta tabla de eficiencia se recogerán los datos de salida y se calculará el payback descontado.

Este modelo es de gran utilidad puesto que cualquier oficina podría hacer un análisis propio partiendo de sus características y obtener unos resultados precisos de una manera rápida y sencilla puesto que, como se ha mencionado antes, los datos a cerca de la rentabilidad de la inversión se obtienen automáticamente.

COSTE ACTUAL PERSONAL	1.000.000,00 €
GRADO OPTIMIZACIÓN	3
COEF. EFICIENCIA	0,06
TASA DESCUENTO -%	4,5%
IPC - %	1,8%
COSTE SOPORTE TÉCNICO (€/año)	10.000,00 €
COSTE DE INVERSIÓN (€)	100.000,00 €

GRADO OPTIMIZACIÓN		
TIPO	DESCRIPCIÓN	COEF. EFICIENCIA
1	Nula tecnificación....	10,00%
2	Poca tecnificación	8,00%
3	Tecnificación media	6,00%
4	Alta tecnificación	4,00%
5	Mucha tecnificación	2,00%

A 10 AÑOS	
VAN	340.538,78 €
TIR	52%

A 15 AÑOS	
VAN	524.529,32 €
TIR	53%

A 20 AÑOS	
VAN	687.607,19 €
TIR	53%

PAYBACK - años	2,07
----------------	------

AÑOS	COSTE PERSONAL - ACTUAL	COSTE PERSONAL - CON BIM	AHORRO	VAN-AHORRO	VAN-AHORRO ACUMULADO	TIR
0	1.000.000,00 €	1.100.000,00 €	-100.000,00 €	-100.000,00 €	-100.000,00 €	
1	1.017.500,00 €	966.450,00 €	51.050,00 €	48.851,67 €	-51.148,33 €	-49%
2	1.035.306,25 €	983.187,88 €	52.118,38 €	47.726,36 €	-3.421,97 €	2%
3	1.053.424,11 €	1.000.218,66 €	53.205,45 €	46.623,75 €	43.201,78 €	26%
4	1.071.859,03 €	1.017.547,49 €	54.311,54 €	45.543,56 €	88.745,34 €	38%
5	1.090.616,56 €	1.035.179,57 €	55.436,99 €	44.485,47 €	133.230,82 €	44%
6	1.109.702,35 €	1.053.120,21 €	56.582,14 €	43.449,19 €	176.680,00 €	48%
7	1.129.122,15 €	1.071.374,82 €	57.747,33 €	42.434,38 €	219.114,38 €	50%
8	1.148.881,78 €	1.089.948,88 €	58.932,91 €	41.440,74 €	260.555,13 €	51%
9	1.168.987,21 €	1.108.847,98 €	60.139,23 €	40.467,96 €	301.023,08 €	52%
10	1.189.444,49 €	1.128.077,82 €	61.366,67 €	39.515,70 €	340.538,78 €	52%
11	1.210.259,77 €	1.147.644,18 €	62.615,59 €	38.583,65 €	379.122,42 €	53%
12	1.231.439,31 €	1.167.552,96 €	63.886,36 €	37.671,48 €	416.793,90 €	53%
13	1.252.989,50 €	1.187.810,13 €	65.179,37 €	36.778,87 €	453.572,77 €	53%
14	1.274.916,82 €	1.208.421,81 €	66.495,01 €	35.905,50 €	489.478,27 €	53%
15	1.297.227,86 €	1.229.394,19 €	67.833,67 €	35.051,04 €	524.529,32 €	53%
16	1.319.929,35 €	1.250.733,59 €	69.195,76 €	34.215,18 €	558.744,50 €	53%
17	1.343.028,11 €	1.272.446,43 €	70.581,69 €	33.397,59 €	592.142,09 €	53%
18	1.366.531,11 €	1.294.539,24 €	71.991,87 €	32.597,94 €	624.740,03 €	53%
19	1.390.445,40 €	1.317.018,68 €	73.426,72 €	31.815,93 €	656.555,96 €	53%
20	1.414.778,20 €	1.339.891,50 €	74.886,69 €	31.051,23 €	687.607,19 €	53%

TABLA 14. Conjunto de tablas que conforman el modelo - Fuente: elaboración propia

4. ESTUDIO DE RENTABILIDAD ECONÓMICA

En este apartado se realizará el análisis de rentabilidad de la implantación del BIM a partir de varios datos de entrada. Se irán modificando los inputs para englobar oficinas de ingeniería industrial de todo tipo y con diferentes presupuestos.

Los inputs se establecerán en función de valores que sean considerados comunes y reales para que así se pueda utilizar este modelo como una herramienta más en la toma de decisiones de la empresa de ingeniería que quiera implementar este software.

Los datos de entrada que se modificarán deberán ser aportados por la empresa que desee realizar el estudio y serán los siguientes: Coste de personal, Coste de inversión, Coste de soporte técnico y Grado de optimización. Con estas variaciones podremos examinar los resultados analíticos y gráficos para así determinar si finalmente la inversión que queremos realizar a la hora de implantar el BIM es una decisión adecuada.

Para el estudio de rentabilidad se han definido valores de Coste de personal de 100.000 €, 1.000.000 € y 10.000.000 € los cuales han sido fijados atendiendo a los presupuestos razonables que se manejan en las distintas empresas del sector. En cuanto al Coste de inversión se utilizarán unos valores orientativos que dependerán del proveedor y del grado de complejidad de la empresa siendo estos de 10.000 €, 50.000 € y 100.000 €. El Coste de soporte técnico vendrá determinado en función del Coste de inversión correspondiendo al 10% de su valor. Para finalizar se analizará cada caso para los diferentes Grados de optimización descritos anteriormente. Además, al ser la mayoría de funciones de carácter lineal, los casos que no aparezcan en la tabla podrán ser calculados mediante una interpolación.

4.1 RESULTADOS ANALÍTICOS

A continuación se muestran los resultados obtenidos aplicando el modelo elaborado en la hoja de cálculo. En la tabla podemos examinar todos los indicadores de rentabilidad entre los cuales destaca el payback, que será el indicador de mayor importancia puesto que es el valor de referencia para conocer el tiempo que tardará la empresa en recuperar la inversión de implementar el BIM en su metodología de trabajo.

A. COSTE DE PERSONAL: 100.000 €**- Coste de inversión: 10.000 €**

<u>EFICIENCIA</u>	<u>PAYBACK</u>	<u>A 10 AÑOS</u>		<u>A 15 AÑOS</u>		<u>A 20 AÑOS</u>	
		<u>VAN</u>	<u>TIR</u>	<u>VAN</u>	<u>TIR</u>	<u>VAN</u>	<u>TIR</u>
10%	1,14	68.698,28 €	94%	101.247,92 €	94%	129.939,82 €	94%
8%	1,47	51.376,08 €	73%	76.850,42 €	73%	99.350,27 €	73%
6%	2,07	34.053,88 €	52%	52.452,93 €	53%	68.760,72 €	53%
4%	3,50	16.731,68 €	30%	28.055,44 €	32%	38.171,17 €	33%
2%	10,67	-590,52 €	3%	3.657,95 €	9%	7.581,62 €	11%

- Coste de inversión: 50.000 €

<u>EFICIENCIA</u>	<u>PAYBACK</u>	<u>A 10 AÑOS</u>		<u>A 15 AÑOS</u>		<u>A 20 AÑOS</u>	
		<u>VAN</u>	<u>TIR</u>	<u>VAN</u>	<u>TIR</u>	<u>VAN</u>	<u>TIR</u>
10%	10,67	-2.952,60 €	3%	18.289,73 €	9%	37.908,08 €	11%
8%	17,24	-20.274,80 €	-4%	-6.107,76 €	3%	7.318,53 €	6%
6%	43,34	-37.596,99 €	-16%	-30.505,25 €	-6%	-23.271,03 €	-1%
4%	(-)	-54.919,19 €	(-)	-54.902,74 €	(-)	-53.860,58 €	-16%
2%	(-)	-72.241,39 €	(-)	-79.300,24 €	(-)	-84.450,13 €	(-)

- Coste de inversión: 100.000 €

<u>EFICIENCIA</u>	<u>PAYBACK</u>	<u>A 10 AÑOS</u>		<u>A 15 AÑOS</u>		<u>A 20 AÑOS</u>	
		<u>VAN</u>	<u>TIR</u>	<u>VAN</u>	<u>TIR</u>	<u>VAN</u>	<u>TIR</u>
10%	81,41	-92.516,19 €	-25%	-85.407,99 €	-12%	-77.131,60 €	-6%
8%	(-)	-109.838,39 €	(-)	-109.805,49 €	(-)	-107.721,16 €	(-)
6%	(-)	-127.160,59 €	(-)	-134.202,98 €	(-)	-138.310,71 €	(-)
4%	(-)	-144.482,78 €	(-)	-158.600,47 €	(-)	-168.900,26 €	(-)
2%	(-)	-161.804,98 €	(-)	-182.997,96 €	(-)	-199.489,81 €	(-)

TABLA 15. Indicadores de rentabilidad para un coste de 100.000 € - Fuente: elaboración propia

B. COSTE DE PERSONAL: 1.000.000 €**- Coste de inversión: 10.000 €**

<u>EFICIENCIA</u>	<u>PAYBACK</u>	<u>A 10 AÑOS</u>		<u>A 15 AÑOS</u>		<u>A 20 AÑOS</u>	
		<u>VAN</u>	<u>TIR</u>	<u>VAN</u>	<u>TIR</u>	<u>VAN</u>	<u>TIR</u>
10%	0,10	848.197,22 €	1009%	1.199.135,08 €	1009%	1.506.469,66 €	1009%
8%	0,13	674.975,23 €	806%	955.160,15 €	806%	1.200.574,14 €	806%
6%	0,17	501.753,24 €	602%	711.185,23 €	602%	894.678,62 €	602%
4%	0,26	328.531,26 €	399%	467.210,30 €	399%	588.783,10 €	399%
2%	0,54	155.309,27 €	195%	223.235,38 €	195%	282.887,58 €	195%

- Coste de inversión: 50.000 €

<u>EFICIENCIA</u>	<u>PAYBACK</u>	<u>A 10 AÑOS</u>		<u>A 15 AÑOS</u>		<u>A 20 AÑOS</u>	
		<u>VAN</u>	<u>TIR</u>	<u>VAN</u>	<u>TIR</u>	<u>VAN</u>	<u>TIR</u>
10%	0,54	776.546,34 €	195%	1.116.176,90 €	195%	1.414.437,91 €	195%
8%	0,68	603.324,36 €	155%	872.201,97 €	155%	1.108.542,39 €	155%
6%	0,93	430.102,37 €	114%	628.227,05 €	114%	802.646,88 €	114%
4%	1,47	256.880,38 €	73%	384.252,12 €	73%	496.751,36 €	73%
2%	3,50	83.658,40 €	30%	140.277,20 €	32%	190.855,84 €	33%

- Coste de inversión: 100.000 €

<u>EFICIENCIA</u>	<u>PAYBACK</u>	<u>A 10 AÑOS</u>		<u>A 15 AÑOS</u>		<u>A 20 AÑOS</u>	
		<u>VAN</u>	<u>TIR</u>	<u>VAN</u>	<u>TIR</u>	<u>VAN</u>	<u>TIR</u>
10%	1,14	686.982,75 €	94%	1.012.479,17 €	94%	1.299.398,23 €	94%
8%	1,47	513.760,77 €	73%	768.504,24 €	73%	993.502,71 €	73%
6%	2,07	340.538,78 €	52%	524.529,32 €	53%	687.607,19 €	53%
4%	3,50	167.316,79 €	30%	280.554,39 €	32%	381.711,67 €	33%
2%	10,67	-5.905,19 €	3%	36.579,47 €	9%	75.816,15 €	11%

TABLA 16. Indicadores de rentabilidad para un coste de 1.000.000 € - Fuente: elaboración propia

C. COSTE DE PERSONAL: 10.000.000 €**- Coste de inversión: 10.000 €**

<u>EFICIENCIA</u>	<u>PAYBACK</u>	<u>A 10 AÑOS</u>		<u>A 15 AÑOS</u>		<u>A 20 AÑOS</u>	
		<u>VAN</u>	<u>TIR</u>	<u>VAN</u>	<u>TIR</u>	<u>VAN</u>	<u>TIR</u>
10%	0,01	8.643.186,64 €	10167%	12.178.006,70 €	10167%	15.271.768,02 €	10167%
8%	0,01	6.910.966,77 €	8132%	9.738.257,45 €	8132%	12.212.812,83 €	8132%
6%	0,02	5.178.746,90 €	6097%	7.298.508,20 €	6097%	9.153.857,64 €	6097%
4%	0,03	3.446.527,02 €	4062%	4.858.758,95 €	4062%	6.094.902,45 €	4062%
2%	0,05	1.714.307,15 €	2027%	2.419.009,70 €	2027%	3.035.947,25 €	2027%

- Coste de inversión: 50.000 €

<u>EFICIENCIA</u>	<u>PAYBACK</u>	<u>A 10 AÑOS</u>		<u>A 15 AÑOS</u>		<u>A 20 AÑOS</u>	
		<u>VAN</u>	<u>TIR</u>	<u>VAN</u>	<u>TIR</u>	<u>VAN</u>	<u>TIR</u>
10%	0,05	8.571.535,77 €	2027%	12.095.048,52 €	2027%	15.179.736,27 €	2027%
8%	0,06	6.839.315,89 €	1620%	9.655.299,27 €	1620%	12.120.781,08 €	1620%
6%	0,09	5.107.096,02 €	1213%	7.215.550,02 €	1213%	9.061.825,89 €	1213%
4%	0,13	3.374.876,15 €	806%	4.775.800,77 €	806%	6.002.870,70 €	806%
2%	0,26	1.642.656,28 €	399%	2.336.051,52 €	399%	2.943.915,51 €	399%

- Coste de inversión: 100.000 €

<u>EFICIENCIA</u>	<u>PAYBACK</u>	<u>A 10 AÑOS</u>		<u>A 15 AÑOS</u>		<u>A 20 AÑOS</u>	
		<u>VAN</u>	<u>TIR</u>	<u>VAN</u>	<u>TIR</u>	<u>VAN</u>	<u>TIR</u>
10%	0,10	8.481.972,17 €	1009%	11.991.350,79 €	1009%	15.064.696,59 €	1009%
8%	0,13	6.749.752,30 €	806%	9.551.601,54 €	806%	12.005.741,40 €	806%
6%	0,17	5.017.532,43 €	602%	7.111.852,29 €	602%	8.946.786,21 €	602%
4%	0,26	3.285.312,56 €	399%	4.672.103,04 €	399%	5.887.831,02 €	399%
2%	0,54	1.553.092,69 €	195%	2.232.353,79 €	195%	2.828.875,83 €	195%

TABLA 17. Indicadores de rentabilidad para un coste de 10.000.000 € - Fuente: elaboración propia

Gracias a la variedad de casos presentados para los costes de personal y de inversión cualquier oficina de ingeniería podrá analizar si la inversión de implementar un sistema BIM va a suponer un beneficio rentable para ellas. Podrán decidir, en función de si es una empresa que tiene unos procesos de trabajos más tradicionales o si ya posee unos métodos más avanzados, si adquirir este tipo de software o, atendiendo al plazo de recuperación, es mejor destinar su capital a otro tipo de inversiones.

(-) Se debe dejar claro que en las tablas correspondientes al análisis efectuado para un presupuesto de 100.000 € se obtienen valores ciertamente incoherentes. En la actualidad es complicado que una empresa dedique una parte tan elevada de su presupuesto a una inversión.

Estos resultados son debidos a la cantidad invertida en el proyecto puesto que sería excesivo que en una empresa que tiene como presupuesto actual destinado hacia el personal una cantidad de 100.000 € se invirtiera esa misma cantidad o el 50% en la implementación de un nuevo software. Se puede observar que el payback que precede a estos casos ya tiene un valor demasiado elevado para que la inversión sea viable puesto que en proyectos de este tipo las oficinas esperan recuperar la inversión en un periodo de tiempo inferior a unos 5 años, en estas situaciones se considera óptimo un periodo de inversión similar a los 2 años

En estos casos se puede apreciar que los valores actuales netos son considerablemente negativos, al igual que las tasas internas de retorno. Esto se traduce en valores elevados de período de retorno de la inversión como ya se ha comentado anteriormente. Esta situación es propiciada por la similitud entre el coste actual de personal y el coste de inversión ya que ninguna empresa destina una parte tan elevada de su presupuesto en un proyecto de inversión con tan poco rendimiento.

En las siguientes tablas correspondientes a costes de personal de 1.000.000 € y 10.000.000 € se observan unos valores de payback, TIR y VAN mucho más viables y coherentes y es debido a la diferencia que existe entre el coste de personal y el coste de inversión. Cuanta mayor sea esta diferencia la será mucho más rentable implementar la metodología BIM alcanzándose unos valores muy elevados de TIR.

4.2 GRÁFICAS DE RENTABILIDAD

En este apartado se expondrán unas gráficas extraídas de las tablas comentadas en el apartado anterior. Estas gráficas nos permitirán analizar el payback de implementar el BIM.

Cada gráfica está asociada a un coste de personal y en ellas se puede contrastar el payback obtenido en función del coste de inversión efectuado. Las funciones representadas corresponden a cada uno de los valores del coeficiente de eficiencia.

Cabe destacar que en las gráficas correspondientes al coste de personal de 100.000 €, para facilitar su comprensión, se representa cada función asociada al coste de inversión. Se omitirá la representación de los valores relacionados con la inversión inicial de 100.000 € puesto que no manifiesta unos valores coherentes. En estas gráficas se puede observar cómo varía el payback en función del coeficiente de eficiencia.

Para poder observar las gráficas con mayor claridad se omitirán funciones con valores extraordinariamente elevados. De esta manera conseguiremos una mayor precisión a la hora de evaluarlas.

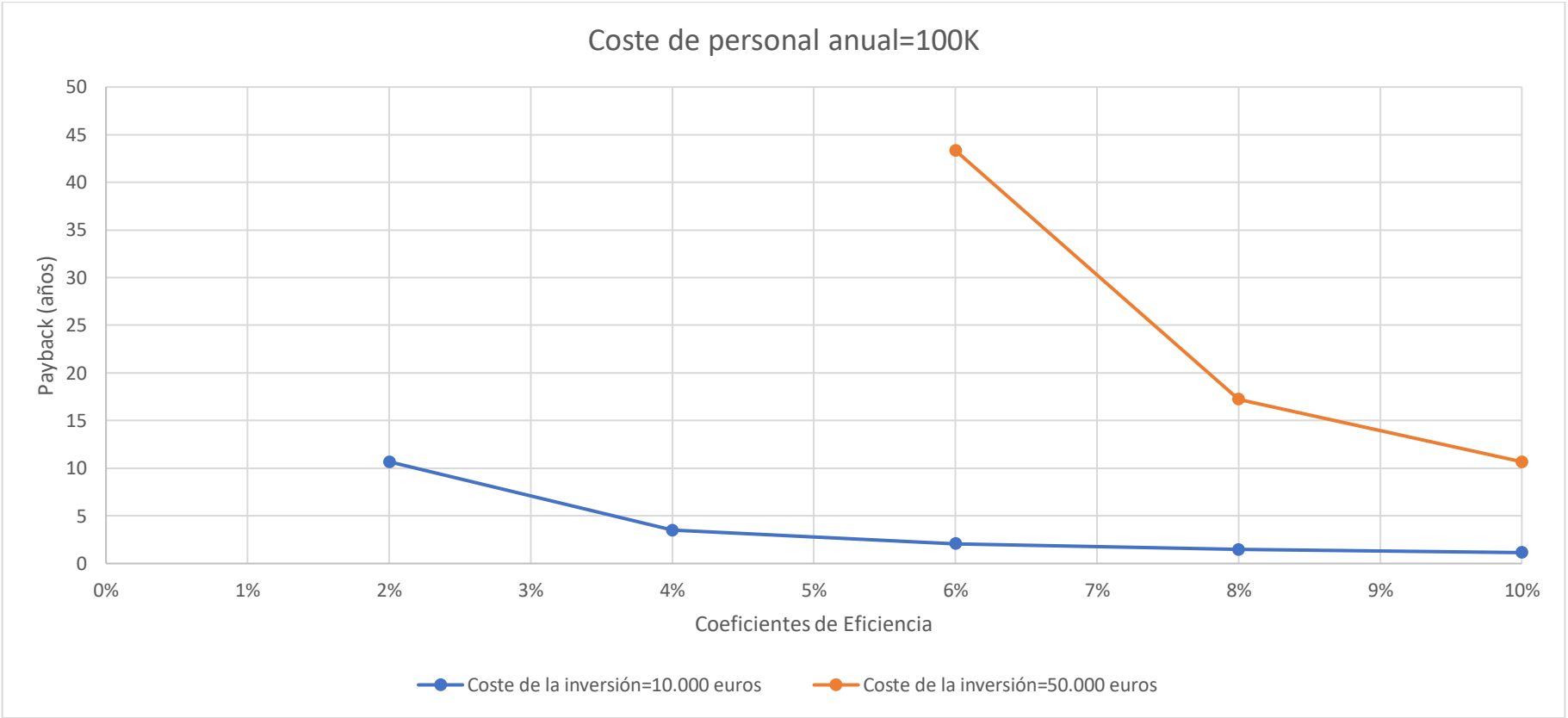


GRÁFICO 3. Rentabilidad para un coste de personal de 100.000 € – Fuente: elaboración propia

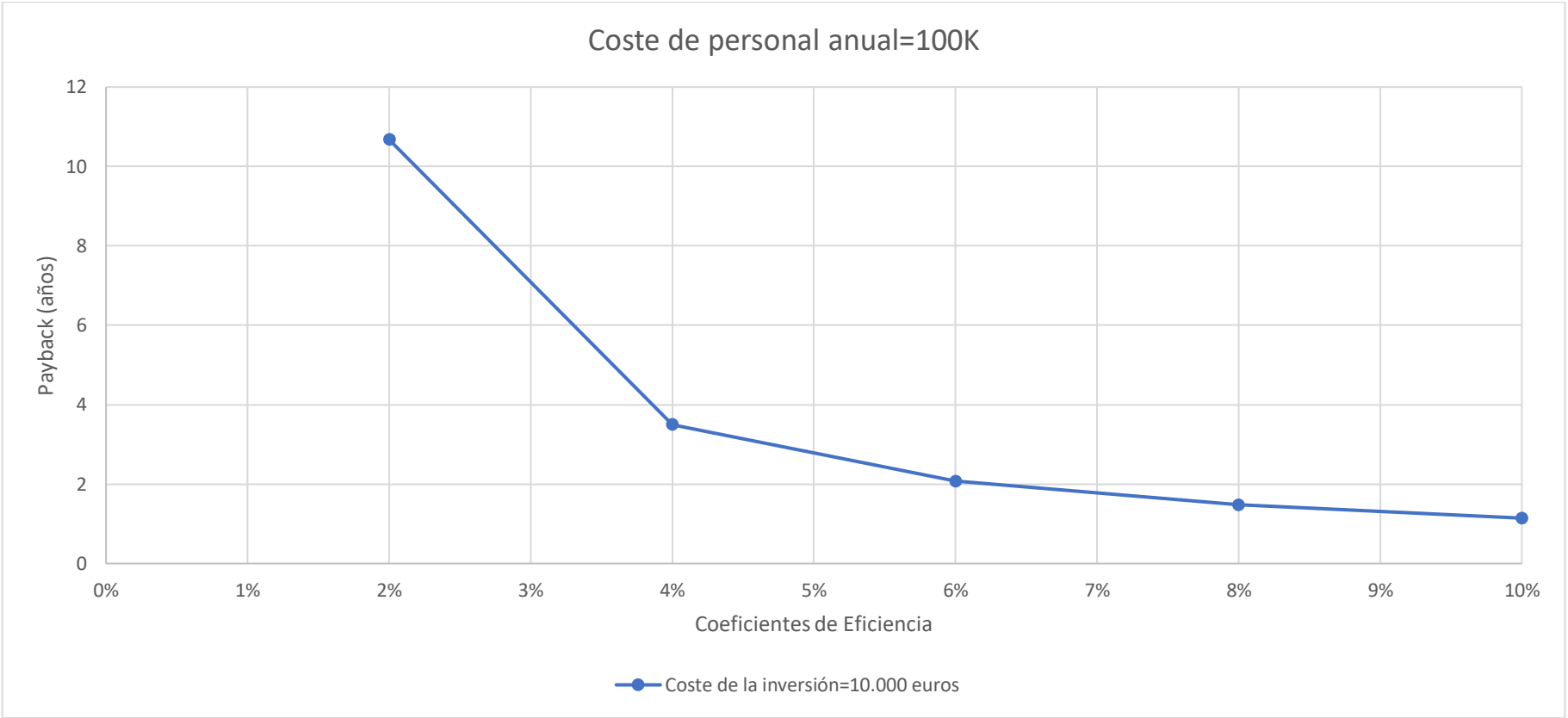


GRÁFICO 4. Rentabilidad para un coste de personal de 100.000 € (Ampliada) – Fuente: elaboración propia

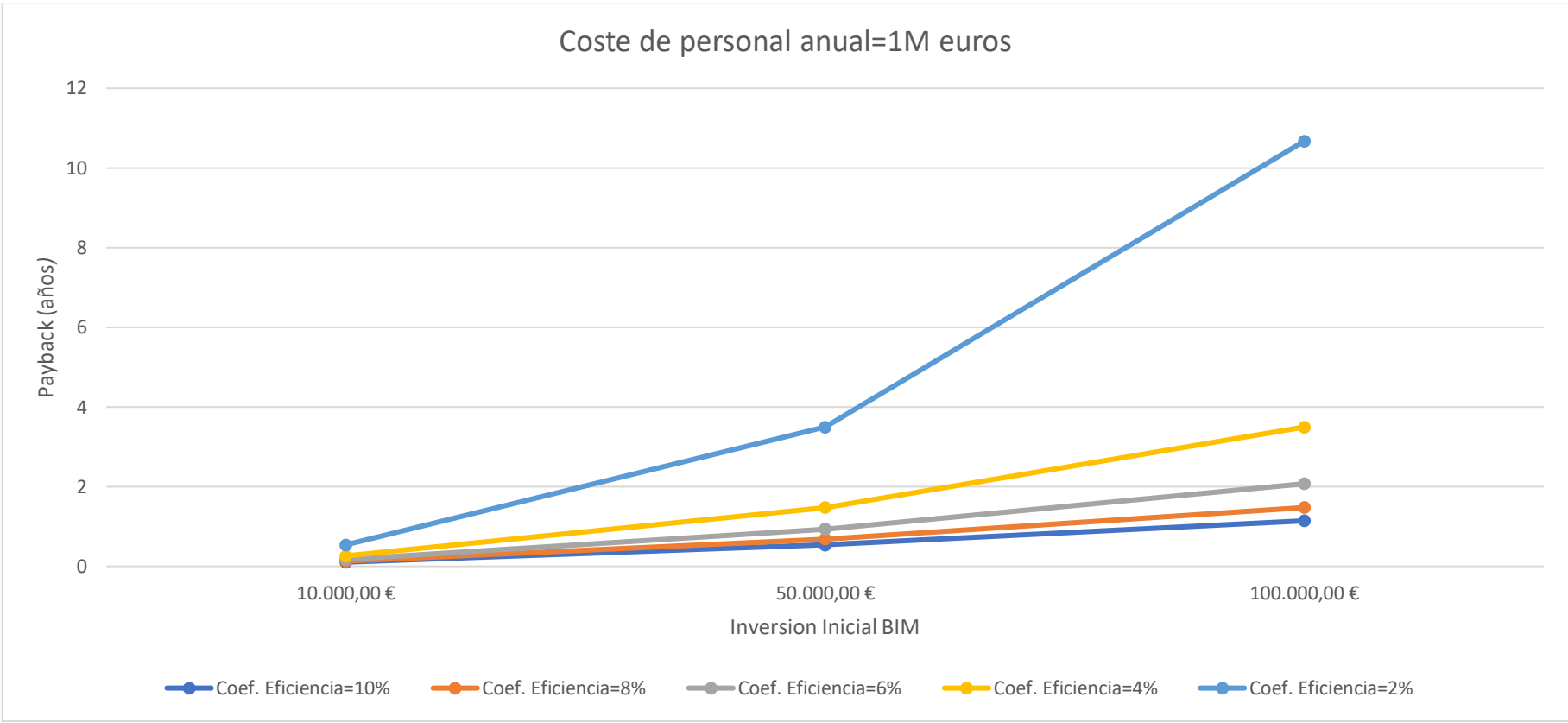


GRÁFICO 5. Rentabilidad para un coste de personal de 1.000.000 € – Fuente: elaboración propia

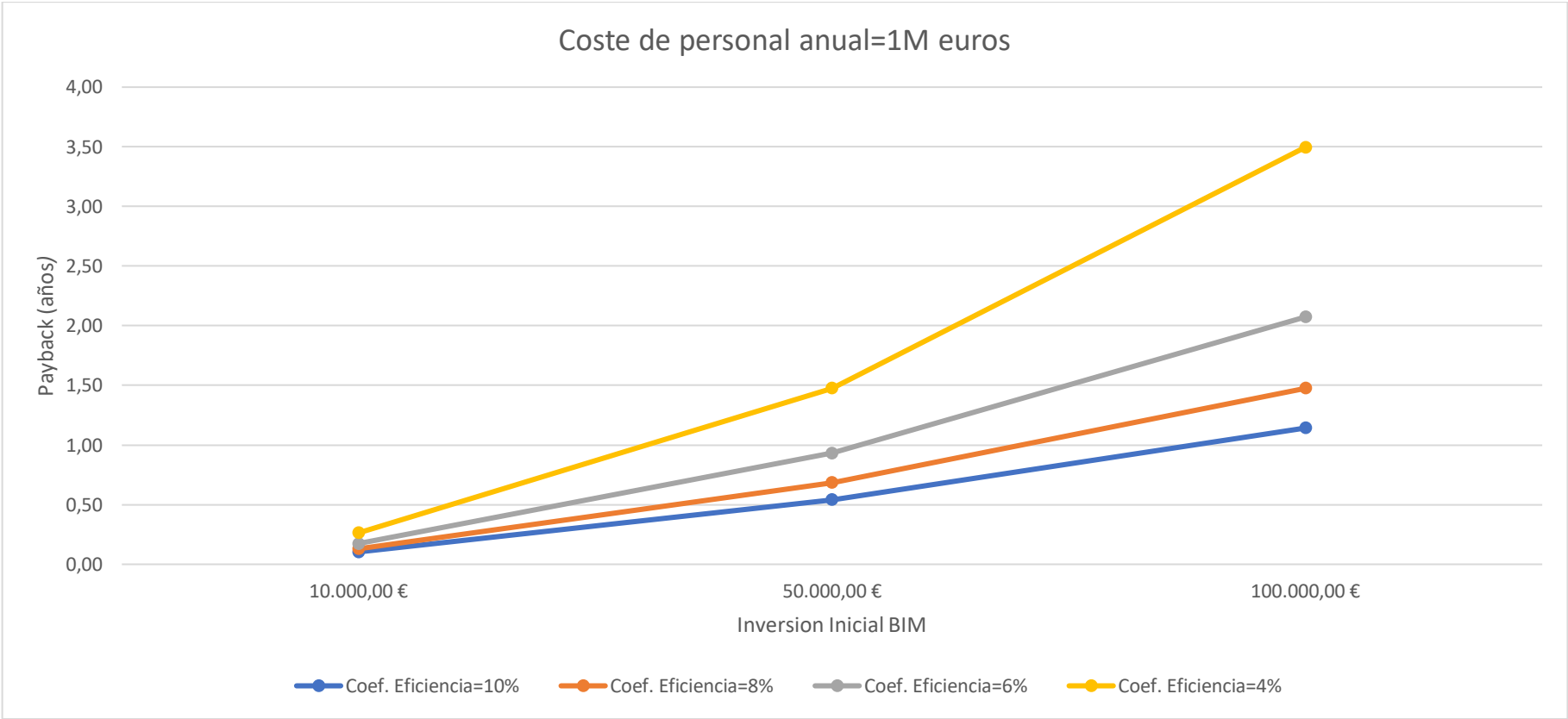


GRÁFICO 6. Rentabilidad para un coste de personal de 1.000.000 € (Ampliada) – Fuente: elaboración propia

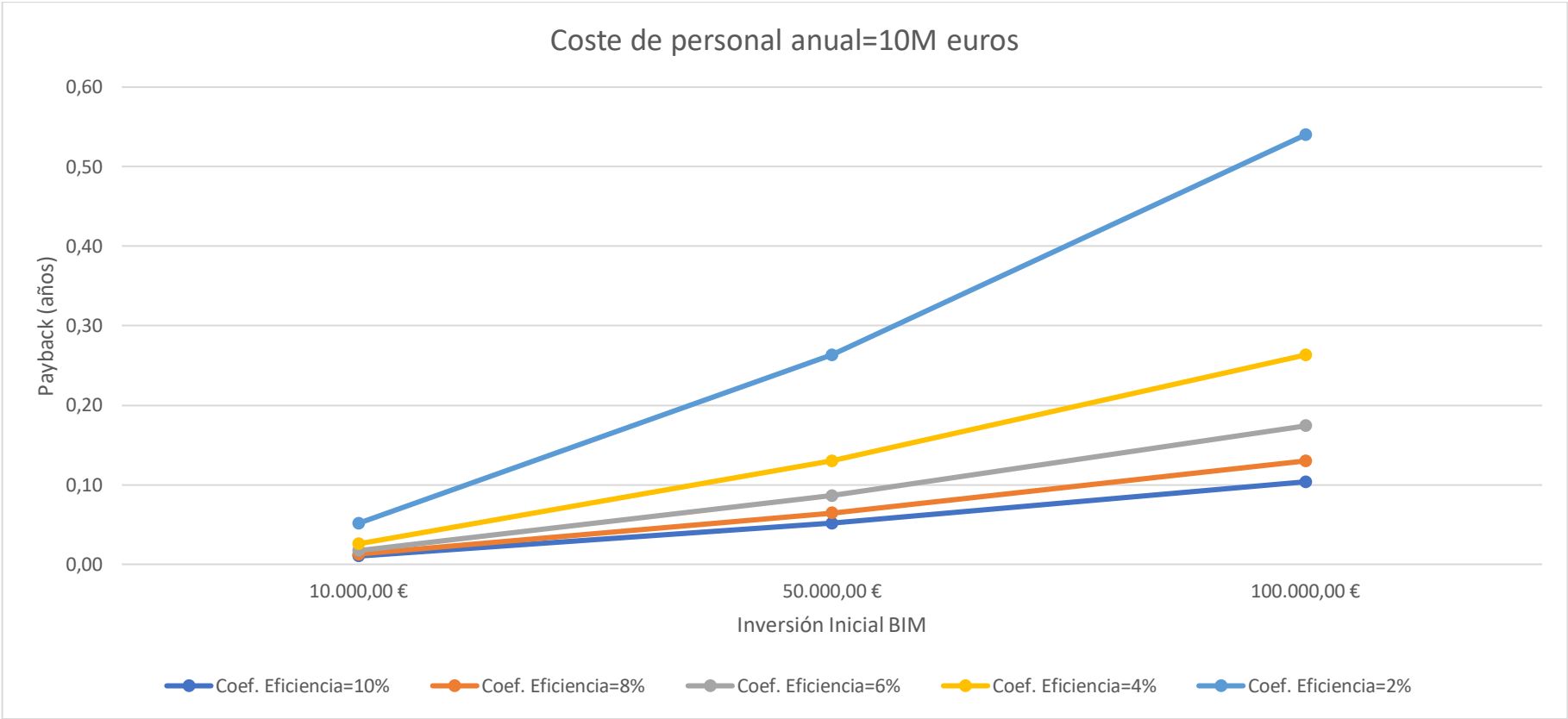


GRÁFICO 7. Rentabilidad para un coste de personal de 10.000.000 € – Fuente: elaboración propia

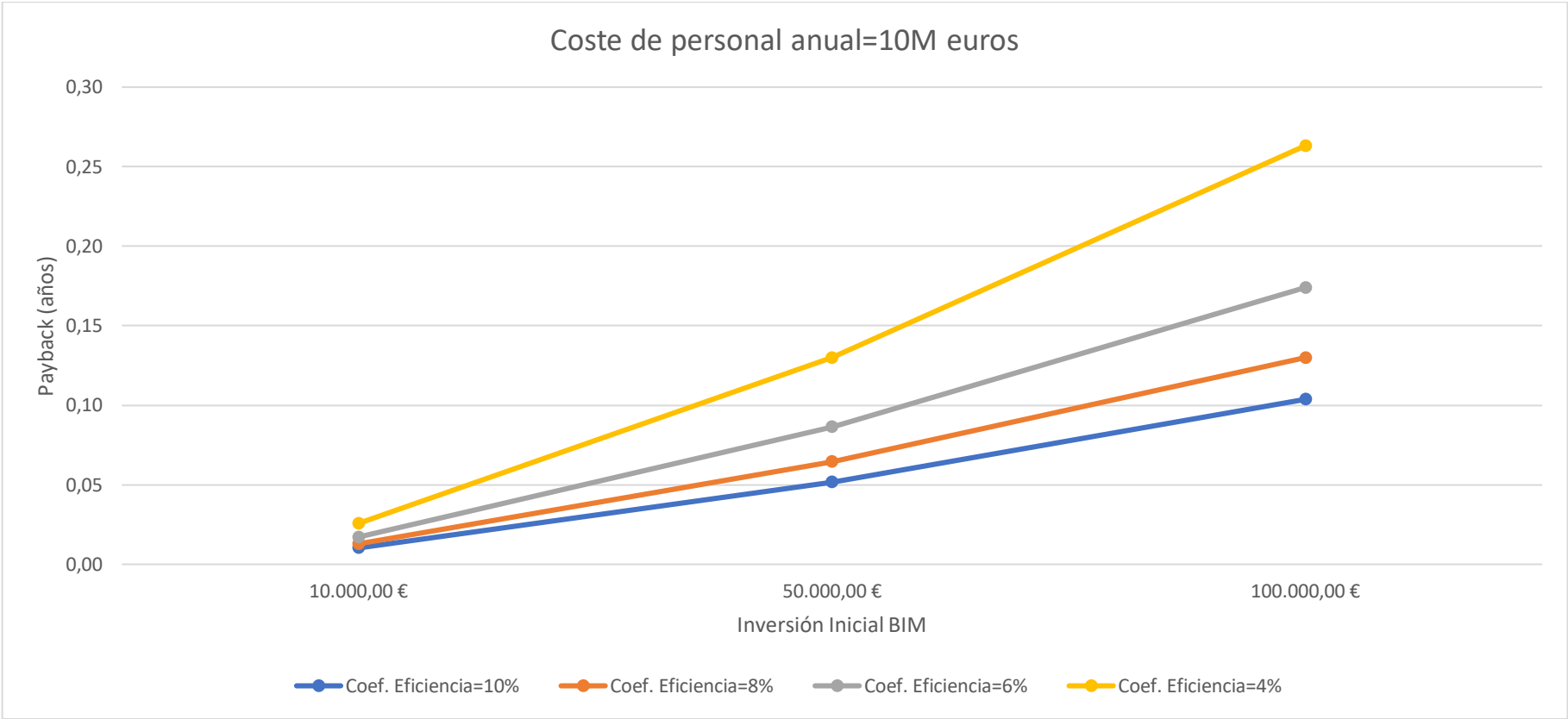


GRÁFICO 8. Rentabilidad para un coste de personal de 10.000.000 € (Ampliada) – Fuente: elaboración propia

4.3 EJEMPLO DE APLICACIÓN

A continuación se va a presentar un caso práctico en el que una empresa de ingeniería industrial quiere realizar un análisis de rentabilidad para decidir si se implementa la metodología BIM en sus oficinas. Para tomar la decisión se basará el estudio en el modelo descrito en este Trabajo.

En este ejemplo se va a suponer una empresa de proyectos de ingeniería que tiene un presupuesto anual de 800.000 € dirigido a su personal. La empresa va a realizar una inversión de 75.000 € para la implementación del BIM y por sus características técnicas se le asociará un grado de optimización tipo 2, por lo que su coeficiente de eficiencia corresponderá a un 8%.

Se procede a completar los datos de la tabla de entrada, quedando como resultado:

COSTE ACTUAL PERSONAL	800.000,00 €
GRADO OPTIMIZACIÓN	2
COEF. EFICIENCIA	0,08
TASA DESCUENTO -%	4,5%
IPC - %	1,8%
COSTE SOPORTE TÉCNICO (€/año)	7.500,00 €
COSTE DE INVERSIÓN (€)	75.000,00 €

TABLA 18. Ejemplo de datos de entrada - Fuente: elaboración propia

Una vez introducidos los inputs en la tabla de entrada la hoja de cálculo efectuará los cálculos necesarios para elaborar la tabla de eficiencia:

AÑOS	COSTE PERSONAL ACTUAL	COSTE PERSONAL CON BIM	AHORRO	VAN	VAN ACUMULADO	TIR
0	800.000,00 €	875.000,00 €	-75.000,00 €	-75.000,00 €	-75.000,00 €	
1	814.000,00 €	756.380,00 €	57.620,00 €	55.138,76 €	-19.861,24 €	-23%
2	828.245,00 €	769.485,40 €	58.759,60 €	53.807,93 €	33.946,68 €	35%
3	842.739,29 €	782.820,14 €	59.919,14 €	52.506,94 €	86.453,62 €	58%
4	857.487,23 €	796.388,25 €	61.098,98 €	51.235,24 €	137.688,86 €	68%
5	872.493,25 €	810.193,79 €	62.299,46 €	49.992,27 €	187.681,13 €	73%
6	887.761,88 €	824.240,93 €	63.520,95 €	48.777,47 €	236.458,60 €	76%
7	903.297,72 €	838.533,90 €	64.763,82 €	47.590,30 €	284.048,89 €	77%
8	919.105,43 €	853.076,99 €	66.028,43 €	46.430,21 €	330.479,11 €	78%
9	935.189,77 €	867.874,59 €	67.315,18 €	45.296,68 €	375.775,79 €	78%
10	951.555,59 €	882.931,14 €	68.624,45 €	44.189,18 €	419.964,97 €	79%
11	968.207,82 €	898.251,19 €	69.956,63 €	43.107,18 €	463.072,16 €	79%
12	985.151,45 €	913.839,34 €	71.312,12 €	42.050,18 €	505.122,33 €	79%
13	1.002.391,60 €	929.700,27 €	72.691,33 €	41.017,66 €	546.139,99 €	79%
14	1.019.933,46 €	945.838,78 €	74.094,68 €	40.009,11 €	586.149,10 €	79%
15	1.037.782,29 €	962.259,71 €	75.522,58 €	39.024,06 €	625.173,17 €	79%
16	1.055.943,48 €	978.968,00 €	76.975,48 €	38.062,01 €	663.235,18 €	79%
17	1.074.422,49 €	995.968,69 €	78.453,80 €	37.122,49 €	700.357,66 €	79%
18	1.093.224,89 €	1.013.266,89 €	79.957,99 €	36.205,01 €	736.562,67 €	79%
19	1.112.356,32 €	1.030.867,82 €	81.488,51 €	35.309,12 €	771.871,79 €	79%
20	1.131.822,56 €	1.048.776,75 €	83.045,80 €	34.434,35 €	806.306,14 €	79%

TABLA 19. Tabla de eficiencia ejemplo - Fuente: elaboración propia

A partir de la tabla de eficiencia se calcularán los outputs, es decir, la tabla de los indicadores de rentabilidad que será objeto de análisis, la cual se muestra a continuación:

A 10 AÑOS

VAN	419.964,97 €
TIR	79%

A 15 AÑOS

VAN	625.173,17 €
TIR	79%

A 20 AÑOS

VAN	806.306,14 €
TIR	79%

PAYBACK - años

1,35

TABLA 20. Análisis de rentabilidad del ejemplo - Fuente: elaboración propia

En este caso en particular podemos observar que el payback será de 1,35 años por lo que la empresa tardará en recuperar la inversión de implementar la metodología BIM unos 16 meses.

Además se puede apreciar que, aplicando una tasa de descuento del 4,5%, el TIR de nuestra inversión será del 79%. Este dato evidencia la alta rentabilidad que supone para esta oficina el BIM.

En cuanto al VAN las estimaciones también son muy prometedoras puesto que a partir de los dos años la empresa ya empezará a percibir los beneficios de la implementación de este software. Como se puede observar en la tabla de indicadores de rentabilidad el ahorro conseguido a 10, 15 y 20 años es muy significativo.

Teniendo todos estos aspectos en cuenta se puede concluir que para esta empresa la implementación del BIM es una decisión acertada y que aportará cuantiosos beneficios gracias a la mejora de la eficiencia en los proyectos elaborados.

5. CONCLUSIONES

En este Trabajo se realiza un estudio a cerca de la implantación de la metodología BIM en una oficina de elaboración de proyectos relacionados con la ingeniería industrial.

En los primeros apartados se describe y contextualiza el concepto del Building Informatio Modeling (BIM), se explican su significado su origen y las ventajas de trabajar mediante esta herramienta. Todo este análisis tecnológico tiene el fin de conocer el BIM para poder situarse antes de empezar con el estudio económico

Se hace mención a la capacidad que tiene el BIM para generar, concentrar, relacionar y compartir datos y en la importancia que tiene el diseño inicial del proyecto para ahorrar costes en el futuro. Gracias a la mejora de la organización y de la productividad se hace evidente que el BIM va a traer grandes beneficios a este tipo de empresas.

Después de conocer todo lo que implica el BIM se comienza el estudio económico en el que se describe la elaboración de un modelo en una hoja de cálculo. Se definen los conceptos económicos necesarios para comprender su funcionamiento y se explica el conjunto de tablas (tabla de entrada, de eficiencia y de salida) que componen el modelo.

Posteriormente se plantean unos casos de estudio queriendo mostrar la rentabilidad de la implantación del software para un amplio abanico de posibles empresas del sector. Una vez se analizan los resultados de ejecutar el modelo se puede concluir que una empresa que realice una inversión coherente podrá obtener una buena rentabilidad.

Esta hoja de cálculo presentada puede ser utilizada para cualquier situación, simplemente se deberán actualizar los datos de entrada para que el modelo se efectúe automáticamente.

Gracias a la posibilidad de llevar a cabo un análisis exhaustivo que proporciona indicadores como el TIR, el VAN y el plazo de recuperación de la inversión, este

trabajo podrá ser un método que las empresas utilizarán para informarse y estudiar la rentabilidad económica de implementar el BIM. Además se analizan casos en los que se abarcan pequeñas, medianas y grandes empresas para que sirva de utilidad a muchos tipos de oficinas que podrán utilizar el modelo para justificar la toma de decisión de implementar BIM su metodología de trabajo.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Universidad Politécnica de Madrid. POSIBILIDADES DE LA METODOLOGÍA BIM EN LA INGENIERÍA CIVIL.
- [2] Eloi Coloma Picó (2008). INTRODUCCIÓN A LA METODOLOGÍA BIM.
- [3] Instituto Tecnológico del Cantábrico. LOS BENEFICIOS DEL BIM Y EL MEP: INGENIERÍA, ARQUITECTURA E INSTALACIÓN.
- [4] Universidad Politécnica de Valencia. POSIBILIDADES DE LA METODOLOGÍA BIM EN LA INGENIERÍA CIVIL.
- [5] Luciano Gorosito (2014). LA TECNOLOGÍA BIM APLICADA A LA GESTIÓN INTEGRAL DE PROYECTOS DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
- [6] Autodesk Revit. <https://www.autodesk.es/products/revit/overview>
- [7] Autodesk Navisworks.
<https://www.autodesk.com/products/navisworks/overview>
- [8] Información relacionada con la actualidad del BIM. <https://www.esbim.es>
- [9] Universidad de La Coruña. INTERACCIÓN DE PROCESOS BIM
- [10] Graphisoft Archicad.
https://www.graphisoft.es/archicad/open_bim/about_bim/
- [11] Asociación Española de Normalización y Certificación.
<https://www.aenor.com>
- [11] Instituto Nacional de Estadística.
<https://www.ine.es>

[12] Definición de términos económicos.

<https://economipedia.com>

7. ÍNDICE DE TABLAS, GRÁFICOS Y FIGURAS

7.1 ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. Datos de entrada - Fuente: elaboración propia..... 26

TABLA 2. Grados de optimización- Fuente: elaboración propia 27

TABLA 3. Definición grados de optimización – Fuente: elaboración propia..... 27

TABLA 4. Costes de inversión - Fuente: elaboración propia 30

TABLA 5. Columna 1 tabla de eficiencia - Fuente: elaboración propia..... 31

TABLA 6. Columna 2 tabla de eficiencia - Fuente: elaboración propia..... 32

TABLA 7. Columna 3 tabla de eficiencia - Fuente: elaboración propia..... 34

TABLA 8. Columna 4 tabla de eficiencia - Fuente: elaboración propia..... 35

TABLA 9. Columna 5 tabla de eficiencia - Fuente: elaboración propia..... 36

TABLA 10. Columna 6 tabla de eficiencia - Fuente: elaboración propia..... 37

TABLA 11. Columna 7 tabla de eficiencia - Fuente: elaboración propia..... 38

TABLA 12.Tabla de eficiencia completa - Fuente: elaboración propia 39

TABLA 13. Outputs: indicadores de rentabilidad - Fuente: elaboración propia 44

TABLA 14. Conjunto de tablas que conforman el modelo - Fuente: elaboración propia
..... 46

TABLA 15. Indicadores de rentabilidad para un coste de 100.000 € - Fuente:
elaboración propia 49

TABLA 16. Indicadores de rentabilidad para un coste de 1.000.000 € - Fuente:
elaboración propia 50

TABLA 17. Indicadores de rentabilidad para un coste de 10.000.000 € - Fuente:
elaboración propia 51

TABLA 18. Ejemplo de datos de entrada - Fuente: elaboración propia 60

TABLA 19. Tabla de eficiencia ejemplo - Fuente: elaboración propia 61

TABLA 20. Análisis de rentabilidad del ejemplo - Fuente: elaboración propia 61

7.2 ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 VAN en función de la Tasa de descuento. – Fuente: economipedia.com	41
GRÁFICO 2 Comparación del TIR de dos inversiones. – Fuente: economipedia.com ...	42
GRÁFICO 3. Rentabilidad para un coste de personal de 100.000 € – Fuente: elaboración propia	54
GRÁFICO 4. Rentabilidad para un coste de personal de 100.000 € (Ampliada) – Fuente: elaboración propia	55
GRÁFICO 5. Rentabilidad para un coste de personal de 1.000.000 € – Fuente: elaboración propia	56
GRÁFICO 6. Rentabilidad para un coste de personal de 1.000.000 € (Ampliada) – Fuente: elaboración propia	57
GRÁFICO 7. Rentabilidad para un coste de personal de 10.000.000 € – Fuente: elaboración propia	58
GRÁFICO 8. Rentabilidad para un coste de personal de 10.000.000 € (Ampliada) – Fuente: elaboración propia	59

7.3 ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Presentación del BIM - Fuente: saint-gobain.com	4
FIGURA 2. Evolución CAD - BIM – Fuente: udc.es.	6
FIGURA 3. Diferencias entre CAD y BIM – Fuente: upc.edu	7
FIGURA 4. Curva de MacLeamy – Fuente: upm.es	8
FIGURA 5. Beneficios BIM – Fuente: graebert.com	10
FIGURA 6. Aplicaciones del BIM – Fuente: pinterest.com	13
FIGURA 7. Ejemplo de modelo 3D y planos 2D en Revit – Fuente: autodesk.es	14
FIGURA 8. Simulación en Navisworks – Fuente: autodesk.es	16
FIGURA 9. Cálculo de costes en Presto (compatibilidad con Revit) – Fuente: seystic.com	18
FIGURA 10. Análisis de consumo energético con Revit – Fuente: seystic.com	20
FIGURA 11. Esquema de la metodología BIM – Fuente: elaboración propia	22
FIGURA 12. Esquema del modelo – Fuente: elaboración propia	25